This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

BOSTON
MEDICAL LIBRARY
8 THE FENWAY

Sitzungsberichte

der

18011

Physikalisch-medizinischen Sozietät

in

Erlangen

Redigiert von **Oskar Schulz**

---

37. Band

1905

ERLANGEN
K. b. Hof- und Univ.-Buchdruckerei von Junge & Sohn
1906

LIBRARY
DEC 1 19
ON MEDI
2 19
E

Inhaltsverzeichnis.

Geschäftliche Mitteilungen:

Stand der Mitglieder V

A. Ordentliche Mitglieder V

B. Ehrenmitglieder VI

C. Korrespondierende Mitglieder IX

Vorstand XI

Tauschverkehr XII

Eingelaufene Druckschriften

A. Im Tauschverkehr XII

B. Als Geschenk XXI

Verzeichnis der in den Sitzungen vom 1. Januar 1905 bis 31. Dezember 1905 gehaltenen Vorträge XXIII

Wissenschaftliche Mitteilungen aus den Sitzungen und Abhandlungen 1

Inhaltsverzeichnis des wissenschaftlichen Teiles des 37. Bandes 484

Stand der Mitglieder

am 31. Dezember 1905.

50 ordentliche, 59 Ehren- und 82 korrespondierende Mitglieder.

In der folgenden Liste stehen die Abkürzungen: O.M. für ordentliches Mitglied, E.M. für Ehrenmitglied, K.M. für korrespondierendes Mitglied. Die Jahreszahlen beziehen sich auf die Zeit der Ernennung.

A. Ordentliche Mitglieder.

Apitzsch, H., Dr., Assistent am pharmazeut.-chem. Institut, 1896.
Bartel, F., Dr., Assistent am patholog.-anatomischen Institut, 1905.
Birkenbach, L., Dr., Assistent am chemischen Institut, 1905.
Bischoff, O., Dr., kgl. Bezirksarzt, 1893.
Brommer, M., Apotheker, 1885.
Busch, M., Dr., Professor der Chemie, 1890.
Denker, A., Dr., Professor der Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde, 1903.
Fischer, O., Dr., Professor der Chemie, 1885.
Fleischmann, A., Dr., Professor der Zoologie, 1886.
Fritsch, O., Dr., prakt. Arzt, 1888.
Fuchs, R., Dr., Privatdozent für Physiologie, 1901.
Gengler, J., Dr., Stabsarzt, 1903.
Gerlach, L., Dr., Professor der Anatomie, 1874.
Gordan, P., Dr., Professor der Mathematik, 1874.
Graser, E., Dr., Professor der Chirurgie, 1884.
Gutbier, A., Dr., Privatdozent für Chemie, 1899.
Hauck, L., Dr., Privatdozent für Haut- und Geschlechtskrankheiten, 1901.
Hauser, G., Dr., Professor der patholog. Anatomie, 1881.
Heim, L., Dr., Professor der Hygiene und Bakteriologie, 1897.
Heinz, R., Dr., Professor für Pharmakologie, 1899.
Henrich, F., Dr., Professor für Chemie, 1901.
Hermann, F., Dr., Professor der Anatomie, 1884.

Hetzel, K., Dr., prakt. Arzt, 1898.
Jamin, F., Dr., Privatdozent für innere Medizin, 1903.
Jordis, E., Dr., Privatdozent für Chemie, 1902.
Koeberlin, H., Dr., Oberarzt an der Kreisirrenanstalt, 1885.
Königer, H., Dr., Assistent an der medizin. Klinik, 1904.
Kreuter, E., Dr., Privatdozent für Chirurgie, 1905.
Kryger, M. v., Dr., Professor der Chirurgie, 1898.
Limpach, L., Dr., Hofapotheker, 1893.
Lüthje, H., Dr., Professor der klinischen Propädeutik, 1905.
Menge, K., Dr., Professor der Geburtshülfe u. Gynäkologie, 1905.
Merkel, H., Dr., Privatdozent für patholog. Anatomie, 1903.
Noether, M., Dr., Professor der Mathematik, 1875.
Paal, C., Dr., Professor der Chemie, 1887.
Pechuël-Loesche, E., Dr., Professor der Geographie, 1895.
Penzoldt, F., Dr., Professor der inneren Medizin, 1874.
Reiger, L., Dr., Privatdozent für Physik, 1902.
Rosenthal, I., Dr., Professor der Physiologie, 1872.
Schulz, O., Dr., Privatdozent für Physiologie, 1888.
Seitz, L., Dr., Oberstabsarzt, 1902.
Solereder, H., Dr., Professor der Botanik, 1900.
Specht, G., Dr., Professor der Psychiatrie, 1891.
Spuler, A., Dr., Professor für Anatomie, 1894.
Voit, F., Dr., Professor der inneren Medizin u. Pharmakologie, 1903.
Wehnelt, A., Dr., Professor der Physik, 1900.
Weichardt, W., Dr., Privatdozent f. experimentelle Therapie, 1905.
Wiedemann, E., Dr., Professor der Physik 1886,
Würschmidt, A., Dr., Direktor der Kreisirrenanstalt, 1898.
Zander, E., Dr., Privatdozent für Zoologie, 1904.

Eingetreten sind in der Zeit vom 1. Januar 1905 bis zum 31. Dezember 1905 die Herren

F. Bartel, L. Birkenbach, E. Kreuter, H. Lüthje, K. Menge, W. Weichardt.

Ausgetreten sind in derselben Zeit die Herren

D. Gerhardt, H. Salvendi, Th. Schilling, K. Strehl.

B. Ehrenmitglieder.

Ihre Königliche Hoheit Dr. Therese Prinzessin von Bayern, 1903.
Seine Königliche Hoheit Dr. Karl Theodor Herzog in Bayern, 1888.

Arrhenius, Swante, Professor der Physik, Stockholm, K.M. 1895, E.M. 1904.
Baeyer, A. v., Professor der Chemie, München, 1883.
Berthelot, M. P. E., Professor der Chemie, Paris, K.M. 1860, E.M. 1895.
Boltzmann, L., Professor der Physik, Wien, 1897.
Branco, W., Professor der Geologie, Berlin, 1903.
Bütschli, O., Professor der Zoologie, Heidelberg, K.M. 1897, E.M. 1899.
Ehlers, E., Professor der Zoologie, Göttingen, O.M. 1869, E.M. 1874.
Engelmann, Th. W., Professor der Physiologie, Berlin, K.M. 1899, E.M. 1903.
Eversbusch, O., Professor der Augenheilkunde, München, O.M. 1886, E.M. 1901.
Exner, S, Professor der Physiologie, Wien, K.M. 1901, E.M. 1903.
Fischer, E., Professor der Chemie, Berlin, O.M. 1882, K.M. 1886, E.M. 1895.
Goebel, K., Professor der Botanik, München, K.M. 1901, E.M. 1903.
Golgi, C., Professor der allgemeinen Pathologie, Pavia, K.M. 1895, E.M. 1903.
Groth, P., Professor der Mineralogie, München, K.M. 1888, E.M. 1903.
Haeckel, E., Professor der Zoologie, Jena, 1903.
Hensen, V., Professor der Physiologie, Kiel, 1901.
Hering, E., Professor der Physiologie, Leipzig, K.M. 1897, E.M. 1903.
Hertwig, O., Professor der Anatomie, Berlin, K.M. 1889, E.M. 1899.
Hoff, J. H. van't, Professor der Chemie, Berlin, 1902.
Jordan, Camille, Professor der Mathematik, Paris, 1897.
Kohlrausch, F., Professor der Physik, Präsident der physikalisch-technischen Reichsanstalt a. D., Marburg i/H., K.M. 1883, E.M. 1896.
Klein, F., Professor der Mathematik, Göttingen, O.M. 1872, E.M. 1875.
Koch, R., Professor der Hygiene, Berlin, K.M. 1883, E.M. 1895.
Königsberger, L., Professor der Mathematik, Heidelberg, 1904.
Leber, Th., Professor der Augenheilkunde, Heidelberg, 1899.
Leube, W. v., Professor der Medizin, Würzburg, O.M. 1868, E.M. 1886.
Leyden, E. v., Professor der Medizin, Berlin, 1902.

Lister, J., Professor der Chirurgie, London, 1883.
Michel, J. v., Professor der Augenheilkunde, Berlin, O.M. 1873, K.M. 1878, E.M. 1895.
Moissan, H., Professor der Chemie, Paris, 1903.
Ostwald, W., Professor der physikal. Chemie, Leipzig, K.M. 1895, E.M. 1897.
Pfeffer, W., Professor der Botanik, Leipzig, 1901.
Picard, E., M. de l'Institut, Paris, 1904.
Ramsay, W., Professor der Chemie, London, 1903.
Recklinghausen, F. v., Professor der path. Anatomie, Straßburg i. E., 1896.
Retzius, G., Professor der Anatomie, Stockholm, K.M. 1895, E.M. 1901.
Rindfleisch, G. E. v., Professor der path. Anatomje, Würzburg, K.M. 1883, E.M. 1899.
Röntgen, C. v., Professor der Physik, München, K.M. 1889, E.M. 1897.
Rothmund, A. v., Professor der Augenheilkunde, München, K.M. 1887, E.M. 1900.
Sattler, H., Professor der Augenheilkunde, Leipzig, O.M. 1879, K.M. 1886, E.M. 1895.
Sämisch, O., Professor der Augenheilkunde, Bonn, K.M. 1887, E.M. 1899.
Schuster, A., Professor der Physik, Manchester, 1903.
Schwendener, S., Professor der Botanik, Berlin, 1901.
Schweigger, C., Professor der Augenheilkunde, Berlin, 1900.
Strasburger, E., Professor der Botanik, Bonn, K.M. 1883, E.M. 1903.
Strümpell, A. v., Professor der Medizin, Breslau, O.M. 1886, E.M. 1904.
Thomson, J. J, Professor der Physik, Cambridge, 1903.
Thomson, Sir W., Lord Kelvin, Professor der Physik, Glasgow, 1878.
Voit, C. v., Professor der Physiologie, München, K.M. 1863, E.M. 1883.
Volhard, J., Professor der Chemie, Halle a. S., O.M. 1879, K.M. 1882, E.M. 1904.
Waldeyer, W., Professor der Anatomie, Berlin, 1897.
Weber, H., Professor der Physik, Braunschweig, 1899.
Weber, H., Professor der Mathematik, Straßburg i. E., 1900.
Weismann, A., Professor der Zoologie, Freiburg i. Br., 1897.

Zehender, W. v., Professor der Augenheilkunde, Eutin, 1899.
Zeuthen, H. G., Professor der Mathematik, Kopenhagen, 1901.
Zweifel, P., Professor der Gynäkologie, Leipzig, O.M. 1876, E.M. 1887.

Die Gesellschaft verlor durch Tod ihre Ehrenmitglieder W. Flemming, A. Hilger, A. v. Kölliker, F. Frhr. v. Richthofen.

C. Korrespondierende Mitglieder.

Arnold, J., Professor der path. Anatomie, Heidelberg, 1896.
Auwers, K., Professor der Chemie, Greifswald, 1897.
Bauer, G., Professor der Mathematik, München, 1889.
Bäumler, Ch., Professor der Medizin, Freiburg i. Br., O.M. 1872, K.M. 1874.
Bertoni, G., Professor der Chemie, Livorno, 1895.
Blanckenhorn, M., Pankow-Berlin, O.M. 1890, K. M. 1903.
Bokorny, Th., Gymnasial-Professor, München, O.M. 1888, K.M. 1896.
Boström, E., Professor der path. Anatomie, Giessen, O.M. 1879, K.M. 1881.
Brill, A. v., Professor der Mathematik, Tübingen, 1894.
Buchner, Ed., Professor der Chemie, Berlin, 1897.
Chiari, H., Professor der path. Anatomie, Prag, 1897.
Curtius, Th., Professor der Chemie, Heidelberg, O.M. 1886, K.M. 1896.
Déjérine, J., Professor, Médecin de l'hospice de Bicêtre, Paris, 1895.
Delpino, F., Professor der Botanik, Neapel, 1875.
Duncan, M., Professor der Gynäkologie, London, 1883.
Ebert, H., Professor der Physik, München, O.M. 1887, K.M. 1894.
Eberth, C., Professor der path. Anatomie, Halle a. S., 1895.
Ebner, V. v., Professor der Histologie, Wien, 1901.
Elster, H., Professor der Physik, Wolfenbüttel, 1903.
Elterllein, A. v., Exzellenz, kais. ottoman. Unterstaatssekretär, Konstantinopel, O.M. 1895, K.M. 1900.
Engler, A., Professor der Botanik, Berlin, 1902.
Filehne, W., Professor der Pharmakologie, Breslau, O.M. 1874, K.M. 1886.
Fittig, R., Professor der Chemie, Straßburg i. E., 1888.
Foster, B., Professor der Medizin, Birmingham, 1866.
Frommel, R., Professor der Gynäkologie, München, O.M. 1887, K.M. 1901.

Geitel, O., Professor der Physik, Wolfenbüttel, 1903.
Günther, S., Professor der Geographie, München, O.M. 1873, K.M. 1874.
Hadamard, J., Professor der Mathematik, Bordeaux, 1899.
Hansen, A., Professor der Botanik, Gießen, O.M. 1879, K.M. 1882.
Hantzsch, A., Professor der Chemie, Leipzig 1901.
Heller, A., Professor der path. Anatomie, Kiel, O.M. 1869, K.M. 1872.
Hertwig, R., Professor der Zoologie, München, 1889.
Hilbert, D., Professor der Mathematik, Göttingen, 1899.
Horsley, V., Professor der Chirurgie, F. R. S., London, 1901.
Hoyer, H., Professor der Histologie und Entwicklungsgeschichte, Warschau, 1884.
Hubrecht, A., Professor der Zoologie, Utrecht, O.M. 1874, K.M. 1875.
Karrer, F., Direktor der Irrenanstalt Klingenmünster, O.M. 1872, K.M. 1883.
Knoblauch, O., Professor der Physik, München, O.M. 1889, K.M. 1896.
Knorr, L., Professor der Chemie, Jena, O.M. 1883, K.M. 1886.
Kollmann, J., Professor der Anatomie, Basel, 1897.
Königs, W., Professor der Chemie, München, 1888.
Kossel, A., Professor der Physiologie, Heidelberg, 1903.
Krause, W., Professor der Anatomie, Berlin, 1861.
Kries, J. v., Professor der Physiologie, Freiburg i. Br., 1889.
Lépine, Professor der Medizin, Lyon, 1888.
Lieben, A., Professor der Chemie, Wien, 1870.
Limpricht, H., Professor der Chemie, Greifswald, 1856.
Luciani, L., Professor der Physiologie, Rom, 1895.
Lüroth, J., Professor der Mathematik, Freiburg i. Br., 1883.
Marchand, F., Professor der path. Anatomie, Leipzig, 1896.
Meyer, E. v., Professor der Chemie, Dresden, 1897.
Mosso, A., Professor der Physiologie, Turin, 1895.
Munk, Herm., Professor der Physiologie, Berlin, 1897.
Müller, W., Professor d. path. Anatomie, Jena, O.M. 1856, K.M. 1861.
Nernst, W., Professor der physikal. Chemie, Berlin, 1897.
Öbbeke, K., Professor der Mineralogie, München, O.M. 1887, K.M. 1896.
Orth, J., Professor der path. Anatomie, Berlin 1897.
Ost, H., Professor der Chemie, Hannover, 1889.
Oudemans, C. A. J. A., Professor der Botanik, Amsterdam, 1861.

Planck, M., Professor der Physik, Berlin, 1897.
Prym, F., Professor der Mathematik, Würzburg, 1883.
Radlkofer, L., Professor der Botanik, München, 1901.
Raymond, F., Professor, Médecin de la Salpêtrière, Paris, 1895.
Röhring, Oberstabsarzt a. Q., Nürnberg, O.M. 1886, K.M. 1896.
Sarasin, Ed., Grand Saconnet, Genf, 1896.
Schmidt, G. C., Professor der Physik, Königsberg i. Pr., O.M. 1893, K.M. 1900.
Schwalbe, G., Professor der Anatomie, Straßburg i. E., 1886.
Schweinfurth, G., Kairo, 1865.
Segre, C., Professor der Mathematik, Turin, 1901.
Simon, H. Th., Professor der Physik, Göttingen, O.M. 1894, K.M. 1899.
Steiner, J., Professor, prakt. Arzt, Cöln, O.M. 1876, K.M. 1879.
Stintzing, R., Professor der Medizin, Jena, 1899.
Tafel, J., Professor der Chemie, Würzburg, O.M. 1884, K.M. 1902.
Thiele, J., Professor der Chemie, Straßburg i. E., 1897.
Uhthoff, Professor der Augenheilkunde, Breslau, 1899.
Ullrich, H., Direktor der Irrenanstalt Kaufbeuren und Irsee, O.M. 1874, K.M. 1888.
Vongerichten, E., Professor d. Chemie, Jena, O.M. 1873, K.M. 1883.
Wegscheider, R., Professor der Chemie, Wien, 1902.
Weyl, Th., Privatdozent, Berlin-Charlottenburg, O.M. 1879, K.M. 1883.
Wiedersheim, R., Professor der Anatomie, Freiburg i. Br., 1899.
Wislicenus, W., Professor der Chemie, Tübingen, 1897.
Zuntz, N., Professor der Physiologie, Berlin, 1897.

Die Gesellschaft verlor durch den Tod ihre korrespondierenden Mitglieder G. Meissner, E. Ziegler.

Vorstand.

Vom 7. Mai 1905 an bestand der Vorstand aus den Herren

Busch, M., I. Direktor,
Schulz, O., II. Direktor,
Spuler, A., I. Sekretär,
Wehnelt, A., II. Sekretär,
Brommer, M., Kassier.

Tauschverkehr.

Zusendungen von Büchern etc. für die Gesellschaft wolle man direkt an die Physikalisch-medizinische Sozietät in Erlangen richten, die, sofern nicht **besondere** Empfangsanzeige **verlangt** wird, für eingegangene Schriften **nur** in dem folgenden Verzeichnisse dankt.

Verzeichnis

der vom 1. Januar bis 31. Dezember 1905 eingelaufenen Druckschriften.

A. im Tauschverkehr.

Amsterdam, Koninklijke Akademie van Wetenschappen: Jaarboek 1904. — Verslag van de gewone Vergaderingen der Wis- en natuurk. Afd. 13, 1. 2. Afd. Letterkunde. — Fanum Appollinis. Carmen praemio aureo ornatum. 1905.

Arcachon, Société scientifique et station zoologique: Travaux.

Augsburg, Naturhistorischer Verein für Schwaben und Neuburg: Bericht.

Aussig, Naturwissenschaftlicher Verein: Bericht.

Baltimore, American Chemical Journal 31 (1904), 32 (1904), 33 (1905), 34 (1905), Nr. 1. 2.

— Johns Hopkins University, Biological Laboratory: Memoirs. — Circular 1905, 5.

Bamberg, Naturforschende Gesellschaft: Bericht.

Basel, Naturforschende Gesellschaft: Verhandlungen XVII, 1904. XVIII, 1905, Nr. 1.

Batavia, Natuurkundig Vereeniging in Nederl.-Indïe: Tijdschrift 64.

Bautzen, Naturwissenschaftliche Gesellschaft Isis: Sitzungsberichte und Abhandlungen.

Bergen, Bergens Museum: Aarbog 1904, 3. 1905, 1. 2. — Aarsberetning for 1904. — Sars, G. O.: An Account of the Crustacea of Norway V, 7—10. — Nordgaard, O.: Hydrographical and biological investigations in Norwegian fiords. The protist plankton and the diatoms in Bottom Samples by E. Joergensen. Bergen. Grieg 1905 (Bergens Museum).

Berlin, Akademie der Wissenschaften: Sitzungsberichte 1905, Nr. 1—53. Botanischer Verein der Provinz Brandenburg: Verhandlungen 46 (1904).

Berlin, Deutsche chem. Gesellschaft: Berichte 37 (1904), Nr. 19. 38 (1905), Nr. 1—17.
— Geol. Landesanstalt und Bergakademie: Jahrbuch.
— Verein für innere Medizin: Verhandlungen.
— Medizinische Gesellschaft: Verhandlungen 35 (1905).
— Gesellschaft naturforschender Freunde: Sitzungsberichte 1904.
— Deutsche Physikalische Gesellschaft: Berichte 3 (1905), Nr. 1—24; enthaltend: Verhandlungen 7, 1905, Nr. 1—24. und Literaturverzeichnis 4, 1905, Nr. 1—24.

Bern, Naturforschende Gesellschaft: Mitteilungen 1565—1590.

Bonn, Naturhistorischer Verein für die preußischen Rheinlande und Westfalen: Verhandlungen 61. 62, 1. — Sitzungsberichte 1904, Nr. 1. 2. 1905, Nr. 1.

Bordeaux, Société des Sciences physiques et naturelles: Mémoires. — Observations plumométriques et thermométriques 1903—1904. — Procès-verbaux 1903/04.

Boston, American Academy of Arts and Sciences: Proceedings 40, Nr. 8—24. 41, Nr. 1—13. und The Rumford Fund.
— Society of Natural History: Proceedings 31 (1903), Nr. 2—10. 32 (1904), Nr. 1. 2.

Braunschweig, Verein für Naturwissenschaften: Jahresbericht.

Bremen, Naturwissenschaftlicher Verein: Abhandlungen XVIII, 1.

Breslau, Schlesische Gesellschaft für vaterländische Kultur: Jahresbericht 82 (1904 m. Erg.). — Schube, Theodor: Die Verbreitung der Gefäßpflanzen in Schlesien preuss. u. österr. Anteils. Festgabe. Breslau 1903. — Nentwig, Heinr.: Literatur der Landes- und Volkskunde der Prov. Schlesien 1900—1903.

Brooklyn, The Museum of the Brooklyn Institute of Arts and Sciences. Science Bulletin I, 5. 6. — Memoirs of natural sciences.

Brünn, Naturforschender Verein: Verhandlungen 42 (1903). — Bericht der meteorologischen Kommission 22 (1902). — Schindler, Hermann: Beitrag zur Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse Mährens und Schlesiens. Mit 1 Karte. Hrsg. vom naturf. Vereine in Brünn. 1904.

Brüssel, Académie Royale de Médecine de Belgique: Bulletin Sér. IV, 18 (1904), Nr. 10. 11. 19 (1905), Nr. 1—10.
— Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique: Annuaire 1905. — Mémoires de la Classe des Sciences in 8°: 1 (1904), Nr. 1. 2. in 4°: 1 (1904), Nr. 1. 2. — Bulletin 1904, Nr. 12. 1905, Nr. 1—11.
— Société Entomologique de Belgique: Annales 48 (1904).
— Société Royale de Botanique de Belgique: Bulletin 41 (1902/03), Nr. 1—3. 42 (1904/05), Nr. 1. 2.

Budapest, Ungarische Akademie der Wissenschaften: Mathematische und Naturwissenschaftliche Berichte aus Ungarn 20 (1902). — Értekezések a természettudományok köreböl. — Értekezések a mathematikai tudományok köreböl. — Mathematikai és

természettudományi Értesitö 22 (1904), Nr. 3—5. 23 (1905), Nr. 1. 2. — Rapport 1904.

Buenos Aires, Museo Nacional: Anales Ser. III, t. 4. — Comunicaciones.

— Ministerio de agricultura. Sección de zootecnia, bacteriologia, veterinaria y zoologia: Anales.

— Deutsche Akademische Vereinigung: Veröffentlichungen 8.

Bukarest, Societatii de Sciinte Fizice: Buletinul 13 (1904), Nr. 5. 6. 14 (1905), Nr. 1—5.

Cambridge (Engl.), Philosophical Society: Proceedings 13, 1—3.

— (Mass.), Museum of Comparative Zoology at Harvard College: Bulletin 46, 1904, Nr. 5—12. 47, 1905. 48, 1905, Nr. 1. 2. 49, 1905, Nr. 1. 2. Report 1904—05.

Chemnitz, Naturwissenschaftliche Gesellschaft: Bericht.

Cherbourg, Société Nationale des Sciences Naturelles et Mathématiques: Mémoires Ser. IV, 4.

Christiania, Kgl. Universität: Norges officielle Statistik: IV. R., Nr. 1. 2. 27. 29. 36. 55. 58. 74. — Winge, Paul: Den norske sindssygelovgivning. Forelaesninger. Univ.-progr. for 1900, I. Kristiania 1901.

Chur, Naturforsch. Gesellschaft Graubündens: Jahresbericht 47.

Córdoba, Academia Nacional de Ciencias de la República Argentina: Boletin 17, 4. 18, 1.

Danzig, Naturforschende Gesellschaft: Schriften 11 (1904), Nr. 1—3. — Lakowitz, C.: Katalog der Bibliothek der Naturf. Ges. in Danzig: H. 1.

Dorpat siehe Jurjew.

Dresden, Gesellschaft für Natur- und Heilkunde: Jahresbericht 1903—04. 1904—05. — Verzeichnis der Büchersammlung der Ges. für Natur- und Heilkunde 1905.

— Naturwissenschaftl. Gesellschaft Isis: Sitzungsberichte 1904: Juli—Dez. 1905: Jan.—Juni.

Dublin, Royal Dublin Society: The economic Proceedings I, 5. 6. — The scientific Proceedings X, 2. 3. XI, 1—5. — Transactions VIII, 6—16. IX, 1.

— Royal Irish Academy: Proceedings Sect. A vol. 25, 3. Sect. B vol. 25, 1—6. Sect. C. — Transactions.

Dürkheim, Pollichia: Mitteilungen. 20. 21.

Edinburgh, Royal College of Physicians: Reports from the laboratory 9, 1904.

— Botanical Society: Transactions XXII, Nr. 4. XXIII, Nr. 1.

— Physical Society: Proceedings.

— Royal Society: Proceedings. — Transactions.

Elberfeld, Naturwissenschaftlicher Verein: Jahresbericht.

Emden, Naturforsch. Gesellschaft: Jahresbericht — Schriften 1902/03.

Florenz, Biblioteca Nazionale Centrale: Bollettino delle pubblicazioni italiane 1904 Nr. 49. 50. 53. 56. Indice Bogen 1904, 4. 5.

— Istituto di Studi Superiori: Pubblicazioni. — Sezione di med. e

chirurg. — Sez. di scienze fis. e naturali.

— Società Botanica Italiana: Bullettino.

Frankfurt a. M., Ärztlicher Verein: Jahresbericht über die Verwaltung des Medizinalwesens, die Krankenanstalten und die öffentlichen Gesundheitsverhältnisse der Stadt Frankfurt a. M. 47 (1903). — Tabellarische Übersichten betreffend den Zivilstand der Stadt Frankfurt a. M.

— Senckenbergische Naturforsch. Gesellschaft: Bericht 1905. — Abhandlungen.

— Physikalischer Verein: Jahresbericht 1903/04.

Frankfurt a. O., Naturwissenschaftlicher Verein: Helios. Abhandlungen und Mitteilungen aus dem Gesamtgebiete der Naturwissenschaften 22 (1905). — Societatum Litterae.

Frauenfeld, Thurgauische Naturforschende Gesellschaft: Mitteilungen. 16 (1904).

Freiburg i. B., Naturforschende Gesellschaft: Berichte.

Fulda, Verein f. Naturkunde: Bericht.

St. Gallen, Naturwissenschaftliche Gesellschaft: Jahrbuch: 1902/03.

Genf, Société de Physique et d'Histoire Naturelle: Compte rendu 21 (1904).

Gent, Kruidkundig Genootschap Dodonaea: Jaarboek.

Genua, Accademia Medica: Bollettino.

— Museo Civico di Storia Naturale: Annali Ser. III, 1.

Gießen, Oberhessische Gesellschaft für Natur- und Heilkunde: Bericht 34. 1905.

Görlitz, Naturforschende Gesellschaft: Abhandlungen.

Göteborg, Kgl. Vetenskaps- och Vitterhetssamhälle: Handlingar.

Göttingen, Gesellsch. der Wissenschaften: Nachrichten, Math.-phys. Kl. 1904, Nr. 6. 1905, Nr. 1—5. — Geschäftliche Mitteilungen 1904, Nr. 2. 1905, Nr. 1—2.

Graz, Verein der Ärzte in Steiermark: Mitteilungen 42 (1905), Nr. 1—12. 43 (1906), Nr. 1.

— Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark: Mitteilungen 1904 und Haupt-Repertorium zu 21—40, 1884—1903.

Greifswald, Naturwissenschaftl. Verein für Neu-Vorpommern und Rügen: Mitteilungen 36 (1904).

Haarlem, Musée Teyler: Archives Sér. II, Vol. 9, Nr. 3. 4.

Halifax, New Scotian Institute of Science: Proceedings and Transactions XI, 1.

Halle a. S., Kaiserl. Leopoldino-Carolinische Deutsche Akademie der Naturforscher: Leopoldina 41 (1905), Nr. 1—12.

— Naturforschende Gesellschaft: Bericht.

— Naturwissenschaftlicher Verein für Sachsen und Thüringen: Zeitschrift für Naturwissenschaften 77, Nr. 3—6.

Hamburg, Naturwissenschaftlicher Verein in Hamburg-Altona: Verhandlungen III. Folge, 12. — Abhandlungen.

— Verein für naturwissenschaftl. Unterhaltung: Verhandlungen.

Hanau, Wetterauische Gesellschaft für die gesamte Naturkunde: Bericht.

Hannover, Naturhistorische Gesellschaft: Jahresbericht.

Heidelberg, Naturhistorisch-Medizinischer Verein: Verhandlungen N. F. VIII, 1.

Helsingfors, Societas pro Fauna et Flora Fennica: Acta 17. 26. — Meddelanden 29 (1902/03), 30 (1903/04). — Herbarium Musei Fennici Meddelanden.

— Societas Scientarium Fennica: Acta. — Bidrag till kännedom of Finlands Natur och Folk. — Öfversigt 46 (1903/04). — Observat. publiées par l'Institut Météorologique Central 18. 19. — Observations météorol. p. p. l'Institut météorol. central 1891—92. 1893—94. — Etat des glaces et des neiges 1893—94. 1894—95.

Helsingfors, Société Finlandaise de géographie: Meddelanden 6 (1901—03)

Jekaterinburg, Société Ouralienne de Médecine: Mémoires 9. 10.

Innsbruck, Naturwissenschaftlich-Medizin. Verein: Berichte.

Jurjew, Naturforschende Gesellschaft: Archiv für die Naturkunde Liv., Esth- u Kurlands. Ser. II, 12, 3. — Sitzungsberichte XIII, 3. — Schriften 13—15.

Karlsruhe, Naturwissenschaftlicher Verein: Verhandlungen 18.

Kasan, Société Physico-Mathématique: Bulletin Ser. II, T. 14, Nr. 3.

Kassel, Verein für Naturkunde: Abhandlungen und Berichte. 49 (1903—05).

Kiel, Naturwissenschaftlicher Verein in Schleswig-Holstein: Schriften. XIII, 1. Register zu I—XII.

Kiew, Société des Naturalistes: Mémoires 19. 20, 1.

Klausenburg (Kolozsvár), Siebenbürgischer Museumsverein: Sitzungsberichte Abt. I, 26, 1. II, 25, 3. 26, 1—3.

Königsberg i. Pr., Physikalisch-Ökonomische Gesellschaft: Schriften 45 (1904).

Kopenhagen, K. Danske Videnscabernes Selskab: Oversigt 1904, Nr. 6. 1905, Nr. 1—5.

— Naturhistorisk Forening: Meddelelser 1905.

— Medicinske Selskab: Forhandlinger 1904/05.

La Haye, Société Hollandaise des Sciences: Archives Néerlandaises des Sciences exactes et naturelles Sér. II. 10, Nr. 1—5. m. Progr. 1905.

Lancaster & New-York, American Mathematical Society: Bulletin Sér. 2 vol. XI, 4—10. XII, 1—4. Register 1905.

Landshut, Botanischer Verein: Bericht.

La Plata, Facultad de Agronomia y Veterinaria: Revista Epoca II, 1, Nr. 1—5.

Lausanne, Société Vaudoise des Sciences Naturelles: Bulletin 151. 152. 153. — Procès-verb. zu vol. 40: pag XV—LVI. und Tables des vol. XXI—XXX. vol. 41. pag. I—LXVI. — Observations météorologiques faites à la Station météorologique du Champ de-l'Air. Institute agricole de Lausanne 1903.

Lawrence, Kansas University: Science Bulletin.

Leipzig, Jablonowskische Gesellschaft: Jahresbericht.
— Naturforschende Gesellschaft: Sitzungsberichte 30. 31.
— Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften, Mathematisch-Physikal. Klasse: Berichte 1904, Nr. 5. 1905, Nr. 1—4.
— Medizinische Gesellschaft: Berichte. — Verhandlungen 1904.
Linz, Museum Francisco-Carolinum: Jahresbericht 63, 1905 nebst den Beiträgen zur Landeskunde von Österreich o. d. Enns, Liefrg. 57.
London, Nature Nr. 1841—1891.
— Mathematical Society: Proceedings Ser. II. vol. III, Nr.1—7. — List of Members 1903/04. 1904/05.
— Royal Society: Proceedings Series A: 507—513. Series B: 507—513. — Transactions Ser. A, vol. 204, p. 221—386. Ser. B, vol. 197, p. 361—406. vol. 198, p. 1—141. — List of Members. — Year-Book. — Record. — Reports to the Malaria Committee. — Reports to the Evolution Committee II. — Obituary notices of fellows of the Royal Soc. part. IV. — Reports of the Sleeping Sickness Commission 5. 6.
Lüneburg, Naturwissenschaftlicher Verein für das Fürstentum Lüneburg: Jahreshefte.
Lüttich, Société Royale des Sciences de Liége: Mémoires.
Luxenburg, Institut Grand Ducal, Section des Sciences Natur. Mathém.: Publications.
— Société Botanique du Grand-Duché de Luxembourg: Recueil.
Luzern, Naturforschende Gesellschaft: Mitteilungen.
Madison (Wisc.), Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters: Transactions XIV, 2.
— Wisconsin Geological and Natural History Survey: Bulletin.
Magdeburg, Naturwissenschaftlicher Verein: Jahresbericht und Abhandlungen.
Mailand, Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere: Rendiconti 37 (1904), Nr. 17—20. 38 (1905), Nr. 1—16.
— Società Italiana di Scienze Naturali: Atti 43, 4. 44, 1—3. — Memorie.
Manchester, The Manchester Literary & Philosophical Society: Memoirs and proceedings 49 (1905), Nr. 2. 3. 50 (1905/06), Nr. 1.
Marburg, Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften: Sitzungsberichte 1904.
Marseille, Faculté des Sciences: Annales XIV.
Melbourne, Royal Geographical Society of Australasia: Transactions XII. XIII, 1896.
Meriden, Scientific Association: Transactions.
Mexico, Instituto geológico de México: Boletin 20. — Parergones I, Nr. 6—8.
Milwaukee (Wisc.), Public Museum of the City: Report 23 (1904/05)
— Natural History Society: Bulletin 3 (1903), Nr. 4.
Minneapolis, Geological and Natural Survey of Minnesota: Bulletin. — Report.

Missoula (Montana): Bulletin of the University of Montana. Biological Ser. — Geological Ser. — Annual Report 1903/04. — Announcement. — Register.

Montevideo, Museo Nacional: Anales. — Sección histórico filosófica.

Moskau, Société Impériale des Naturalistes: Bulletin 1904, Nr. 2—4.

München, Gesellschaft für Morphologie und Physiologie: Sitzungsberichte XX (1904), Nr. 2. XXI (1905), Nr. 1.

— Ärztlicher Verein: Sitzungsberichte 14 (1904).

— Wochenschrift für Tierheilkunde und Viehzucht.

— Deutsche Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte: Korrespondenzblatt 35 (1904), Nr. 10—12. 36 (1905), Nr. 1—10.

— Ornithologischer Verein: Verhandlungen der Ornitholog. Gesellschaft in Bayern: 5, 1904.

Münster i. W., Westfäl. Provinzial-Verein für Wissenschaft und Kunst: Jahresbericht 30 (1901/02). 31 (1902/03).

Neapel, Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche (Sezione della Società Reale di Napoli): Rendiconto 43 (Ser. III. vol. 10), Nr. 8—12. 44 (Ser. III. vol. 11), Nr. 1—7. Dazu: Indice dei lavori 1737—1903.

— Annali di Nevrologia 22 (1904), Nr. 5—6. 23 (1905), Nr. 1. 2. 4. 5.

— Zoologische Station: Mitteilungen 17, Nr. 3.

Neuchâtel: Société des Sciences Naturelles: Bulletin 29 (1900/01). 30 (1901/02).

New York, Academy of Sciences: Annals. — Memoirs. — Transactions.

— siehe Lancaster.

Nürnberg, Medizinische Gesellschaft u. Poliklinik: Jahresbericht 1904. — Sitzungsberichte 1904.

— Naturhistorische Gesellschaft: Abhandlungen XV, 2.

— Ärztlicher Lokalverein: Sitzungsberichte 1895/96.

— Germanisches Nationalmuseum: Anzeiger 1904, Nr. 1. 3. 4. — Mitteilungen.

Odessa, Société des Naturalistes de la Nouvelle Russie: Mémoires 26. 27.

Offenbach, Verein für Naturkunde: Bericht.

Osnabrück, Naturwissenschaftlicher Verein: Jahresbericht.

Palermo, Circolo Matematico: Annuario 1905. — Rendiconti 19 (1905), Nr. 1—6. 20 (1905), Nr. 1. 2.

Paris, Société de Biologie: Comptes rendus et Mémoires 1905, Nr. 1—38. 1906, Nr. 1—3.

— Société Linnéenne Bulletin.

— Société Zoologique de France: Bulletin 29, 1904. — Tables du Bulletin et des Memoires 1876—1895. Paris 1905.

— Société Française de Physique: Ordre du jour Nr. 221—238. — Bulletin 1904: 3. 4. 1905: 1—3.

Passau, Naturhistorischer Verein: Bericht 1901—04.

Perugia, Università, Facoltà di medicina: Annali Ser. III, 2—4.

Petersburg, Académie des Sciences: Bulletin XVII, 5. XVIII, 1—5. XIX, 1—5. XX, 1—5. XXI, 1—4.

— Hortus Petropolitanus: Acta 15, 3. 23, 3. 24, 1. 2.

— Hortus Universitatis: Scripta.

— Société des Naturalistes: Section de Botanique, Bulletin. — Comptes rendus 1904, Nr. 8. 1905, Nr. 1—7. Travaux 34, 1905. — Section de Géologie et de Minéralogie, Travaux 33, 1905, Nr. 5. — Section de Zoologie et de Physiologie, Travaux 34, 4. 35, 2. 4.

— Société physico-chimique russe: Journal 36 (1904), Nr. 9. 37 (1905), Nr. 1—8. — Protokoly 1905, Nr. 1—8.

Philadelphia, Academy of Natural Sciences: Proceedings 1904, Nr. 2. 3. 1905, Nr. 1. 2.

— College of Physicians: Transactions. Ser. 3, vol. 26. — Summary of the Annual Report of the library committee for 1904.

— Wagner Free Institute of Science: Transactions.

— American Philosophical Society: Proceedings 177—180.

Pisa, Scuola Normale Superiore (Scienze Fisiche e Matematiche): Annali.

Prag, Königlich Böhmische Gesellschaft der Wissenschaften: Jahresbericht 1904. — Sitzungsberichte (Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse) 1904.

— Lese- und Redehalle der deutschen Studenten: Bericht 1903. 1904.

— Deutscher naturwissenschaftlich-medizinischer Verein für Böhmen „Lotos": Sitzungsberichte. N. F. 24, 1904.

Regensburg, Naturwissenschaftlicher Verein: Berichte.

Riga, Naturforscher-Verein: Korrespondenzblatt. — Arbeiten.

Rio de Janeiro, Museu Nacional: Archivos.

Rochester, Academy of Sciences: Proceedings.

Rom, Accademia dei Lincei: Rendiconti (Classe di Scienze Fisiche etc.) XIII, Sem. II, Nr. 12. XIV, Sem. I, Nr. 1—12. Sem. II, Nr. 1—12. — Rendiconto dell' adunanza solenne 1905.

— Accademia Medica: Bullettino.

— Gazzetta Chimica Italiana 35 (1905), I, Nr. 1—6. II, Nr. 1—5.

St. Louis, Missouri Botanical Garden: Report.

Salem, Essex Institute: Naturalist XXXIX, 463. — Bulletin.

San Francisco, California Academy of Sciences: Proceedings.

Santiago (Chile), Société Scientifique du Chile: Actes 13 (1903), Nr. 4. 5. 14 (1904), Nr. 1—4.

— Deutscher Wissenschaftlicher Verein: Verhandlungen.

Stockholm, Svenska Vetenskaps-Akademie: Bihang. — Handlingar 39 (1905), Nr. 1—5. — Entomologiska Förening: Tidskrift 25. 26. — Arkiv för Botanik 3, 4. 4, 1—4. — Arkiv für Matematik, Astronomi och Fysik. 1, 3. 4. 2, 1. 2. — Arkiv för Kemi, Mineralogi och Geologi 1, 3. 4. 2, 1. — Arkiv för Zoologi 2, 1—3. — Årsbok. — Meddelanden från K. Vetenskapsakademiens Nobelinstitut Bd. I, Nr. 1. — Lönn-

berg, Einar: Peter Artedi. Transl. by W. E. Harlock. Upps. & Stockh. 1905. — Les prix Nobel en 1902. Stockh. 1905.

Straßburg, Gesellschaft der Wissenschaften, des Ackerbaues und der Künste im Unterelsaß: Monatsberichte 37. 38.

Stuttgart, Verein für vaterländische Naturkunde in Württemberg: Jahreshefte 61 mit Beilage u. Mitteilungen des bad. botan. Vereins.

Thorn, Coppernicus-Verein für Wissenschaft u. Kunst: Mitteilungen. — Jahresbericht.

Tokio, Medizinische Fakultät der Kaiserl. Japanischen Universität: Mitteilungen VI, 3.

Toulouse, Académie des Sciences, Inscriptions et Belles Lettres: Mémoires X, 4. — Bulletin.

Triest, Museo Civico di Storia Naturale: Atti.

— Società Adriatica di Scienze Naturali: Bollettino.

Tufts College (Mass.): Studies.

Turin, R. Accademia delle Scienze (Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali): Atti 40, Nr. 1—15. — Memorie Ser. II, Vol. 55. — Osservazioni Meteorologiche 1904—05.

Ulm, Verein für Mathematik und Naturwissenschaften: Jahreshefte.

Upsala, Läkareförening: Förhandlingar N. F. X, Nr. 4. — 8. XI, Nr. 1. 2.

Utrecht, Provincial Utrechtsch Genootschap: Aanteekeningen 1904. 1905. — Verslag 1904. 1905.

Washington, National Academy of Sciences: Memoirs.

— Smithsonian Institution: Miscellaneous Collections. — Report 1494—1508. 1518. 1528. — Bulletin of the Philosoph. Society XIV, pag. 277—316.

— Library of the Surgeon Generals Office: Index-Catalogue.

— United States Geological Survey: Monographs. — Mineral Resources of the U. S. Calendar Year. — Water-Supply and irrigation Papers. — Bulletin. — Professional Paper. — Report.

Wien, Akademie der Wissenschaften (Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse): Sitzungsberichte. Abt. I: 112 (1903), Nr. 4—10. 113 (1904), Nr. 1—10. Abt. II^a: 112 (1903), Nr. 7—10. 113 (1904), Nr. 1—10. Abt II^b: 112 (1903), Nr. 7—10. 113 (1904), Nr. 1—10. — Abt. III: 112 (1903), Nr. 1—10. 113 (1904), Nr. 1—10. — Anzeiger 41 (1905), Nr. 1—27. — Mitteilungen d. prähistor. Komm. d. kais. Akad. d. Wiss. — Mitteilungen der Erdbeben-Kommission d. Kais. Akad. d. Wiss. N. F. Nr. 22—27.

— Zoolog.-Botanische Gesellschaft: Verhandlungen 54 Nr. 1—10. 55 Nr. 1—10.

— Naturhistorisches Hofmuseum: Annalen 19 (1904), Nr. 2—4.

— Geologische Reichsanstalt: Jahrbuch 54, Nr. 3. 4. 55, Nr. 1—4. — Verhandlungen 1904, Nr. 16. 17. 1905, Nr. 1—12.

— Naturwissenschaftl. Verein an der Universität: Mitteilungen 1904, Nr. 9. 1805, Nr. 1—3.

Wien, Verein zur Verbreit. naturwissenschaftl. Kenntn.: Schriften 44. 45.
Wiesbaden, Nassauischer Verein für Naturkunde: Jahrbücher 58 (1905).
Winterthur, Naturwissenschaftliche Gesellschaft: Mitteilungen.
Würzburg, Physikal.-Mediz. Gesellschaft: Sitzungsber. 1904, Nr. 1—10. — Verhandlg. 37, Nr. 1—10.
Zürich, Naturforschende Gesellschaft: Neujahrsblatt. — Vierteljahrschrift 49 (1904), Nr. 3. 4. 50 (1905), Nr. 1—3.
Zwickau, Verein für Naturkunde: Jahresbericht 1903.

B. als Geschenk.

Archives des sciences biologiques p. p. l'Inst. imp. de Médicine expérim. à St. Pétersbourg 11, 1905, Nr. 1—3. Suppl. 1904.
21. Annual Report of the Kensington Hospital for Women. Philadelphia.
Noble, Charles P.: The Downes electrothermic clamps. (Repr. from The Journal of the Am. Med. Assoc. Nov. 5, 1904.)
— The nature of the indications for operation for fibroid tumors of the uterus. (Repr. from Am. Medicine, vol. VIII, Nr. 11. Sept. 10, 1904.)
— Overlapping the aponeuroses in the closure of wounds of the abdominal wall. (Repr. from The Med. News, Dec. 17, 1904.)
Elster, J. u. Geitel, H.: Weitere Untersuchungen über die Radioaktivität von Quellsedimenten. (S.-A. aus: Physikal. Zeitschr. 6, Nr. 8.)
— Über die Aufnahme von Radiumemanation durch den menschlichen Körper. (S.-A. aus: Physikal. Zeitschr. 5, Nr. 22.)
— Sur la radioactivité des sédiments des sources thermales. (Extr. des Archives des Sciences phys. et nat. IV. pér., t. XIX. Jan. 1905.)
Annual Report of the Henry Phipps Jnstitute for the study, treatment, and prevention ot Tuberculosis 1, 1903/04 Philadelphia.
Demografia año 1900, 1901, 1902. (Direccion general de estadistica de la provincia de Buenos Aires.)
Jordis, Eduard: Neue Gesichtspunkte zur Theorie der Kolloide. (S.-A aus: Zeitschr. f. Elektrochemie Nr. 30, 1904.)
— Über Salze des Antimons mit organ. Säuren I. II. III. (S.-A. aus: Zeitschr. f. angewandte Chemie XVII, 1904, 2. 6—8. 11.)
— Beiträge z. Kenntnis der Silikate I—VI. (S.-A. aus: Zeitschr. f. Anorg. Chemie 1903—05.)
— [20 Separatabdrücke aus verschied. Zeitschriften.]
Blanckenhorn, M.: [Zur Erklärung der Inselberglandschaft in Afrika.] (S.-A. aus d. Dez.-Protokoll d. Dtsch. geolog. Ges. 56, 1904.)
— Bericht üb. die wiss. Ergebnisse d. Aufnahmen auf Blatt Ostheim v. d. Rhön in den Jahren 1901 u. 1902. (S.-A. aus: Jahrb. d. k. Preuss. Geolog. Landesanstalt u. Bergakad. f. 1902. Bd. XXIII, 4.)
— [Über die Geologie der näheren Umgebung von Jerusalem.] (S.-A. aus d. Febr.-Protokoll d. Dtsch. geolog. Ges. 57, 1905.)

— [Über Feuersteinstücke aus d. Interglacial von Neuhaldensleben.] (S.-A. aus d. Januar-Protokoll d. Dtsch. geolog. Ges. 57, 1905.)

— Geologie d. näheren Umgebung von Jerusalem. (S.-A. aus: Zeitschr. d. dtsch. Palästina-Ver. XXVIII, 1905.)

Poeverlein, Herm.: Beiträge z. Kenntnis d. bayer. Potentillen. III. (S.-A. aus: Mitteilungen Nr. 35 d. Bayer. Bot. Ges. z. Erforsch. d. heim. Flora.)

— Zum 100. Geburtstage v. Friedr. Wilh. u. Karl Heinr. Schultz. (S.-A.)

— Vorarbeiten z. einer Flora Bayerns. (S.-A. aus: Berichte d. Bayer. Bot. Ges. X, 1905.)

— Die Literatur über Bayerns floristische, pflanzengeograph. u. phänolog. Verhältnisse. (S.-A. aus: Berichte d. Bayer. Bot. Ges. X, 1905.)

— Flora exsiccata Bavarica. Fasc. IV, Nr. 251—325. = Denkschriften d. kgl. botan. Ges. in Regensb. Bd. IX, N. F. III. Beil.

Cold Spring Harbor Monographs 3—5.

Monatsschrift f. orthopäd. Chirurgie und physikal. Heilmethoden V (1904), Nr. 1.

Notizkalender, Therapeutischer 26, 1.

Prodromus Florae Batavae I, 1. ed. altera. Nijmegen 1901.

Graefe-Saemisch. Handbuch der gesamten Augenheilkunde. Hrsg. von Theod. Saemisch. 2. Aufl. Bd. V, Abt. I: Saemisch: Die Krankheiten der Cunjunctiva, Cornea und Sklera. Tl. I. Lpzg. 1904. (Gesch. des Prof. Th. Saemisch in Bonn.)

Bardenheuer: Festschrift zur Eröffnung der Akademie für praktische Medizin in Cöln. Cöln 1904.

Sarasin, Ed.: Tommasina, Th. und Micheli, F. J.: Sur la genèse de la radioactivité temporaire. (1904.)

Springfield Museum of Natural History. Bulletin Nr. 1.

Orth, J.: Über Heilungsvorgänge an Epitheliomen. (S.-A. aus: Zeitschr. f. Krebsforsch. I, 1904. Heft 5.)

— Über e. Cysticercus der Pia mater. (S.-A. aus: Berl. kl. Wochenschr. 1904, Nr. 29.)

— Die Pathologie in ihren Beziehungen zu anderen Wissenschaften. (S.-A. aus: Zeitschr. f. ärztl. Fortbildg. I, 1904.)

— Die Stellung der patholog. Anatomie in der Medizin. Festrede. Berlin. 1904.

— Beitrag zur Kenntnis des Lungenemphysems. (S.-A. aus: Berl. kl. Wochenschr. 1905, Nr. 1.)

— Über ärztl. Schulen und Anstalten in Nordamerika. (S.-A. aus: Berl kl. Wochenschr. 1905, Nr. 2.)

Bulletin of the Ayer Clinical Laboratory of the Pennsylvania Hospital Nr. 2.

Kollmann, J.: Neue Gedanken über das alte Problem von der Abstammung des Menschen. (S.-A. aus: Correspondenz-Bl. der Dtsch. anthropol. Ges. Nr. 2. und 3. 1905.)

Führer, Kleiner, durch Speyer a. Rh. 2. Ausg. 1905. (Gesch. des Ver. z. Förderung des Fremdenverkehrs in Speyer.)

Travaux du Laboratoire de Léon Fredericq. (Université de Liège, Institut de Physiologie. T. VII, 1904.)

Sarasin, Ed.: Tommasina, Th. und Micheli, E. J.: Untersuchung des Elster-Geitelschen Effektes: induzierte Radioaktivität. (S.-A. aus: Physik. Zeitschr. 6. Nr. 21. 1905.)

— Ed.: Über die Radioaktivität der Luft, welche atmenden Brunnen entströmt. (S.-A. aus: Physik. Zeitschr. 6, Nr. 21. 1905.)

Revista da Sociedade scientifica de São Paulo. 1905, 2. São Paulo, Brasil.

Branco, W. und Fraas, E.: Das kryptovulcanische Becken von Steinheim. Berlin 1905.

— W.: Über H. Höfer's Erklärungsversuch der hohen Wärmezunahme im Bohrloche zu Neuffen.

— Die fraglichen fossilen menschl. Fussspuren im Sandsteine von Warnambool, Victoria (Australien). (S.-A. aus: Zeitschr. f. Ethnologie 1905, 1.)

Bibliographia. Prof. Dr. A. Ernst, Caracas (Venezuela), † 12. 8. 1899. 1865—1899. (Gesch. v. Herm. Ahrensburg, Caracas.)

XV. Congrès internat. de Médecine Lisbonne 1906. Bulletin officiel Nr. 5. 6.

Proceedings of the Physical Society of London 19 (1904), Nr. 5—8.

Sitzungen.

Die physikalisch-medizinische Sozietät hielt vom 1. Januar bis 31. Dezember 1905 acht Sitzungen ab, deren wissenschaftliches Material in dem nachstehenden Verzeichnis aufgeführt und größtenteils in den Abhandlungen und kurzen Mitteilungen dieses Bandes niedergelegt ist.

Verzeichnis der in den Sitzungen gehaltenen Vorträge.

Sitzung am 9. Januar 1905

im anatomischen Institut.

D. Gerhardt: Über Unregelmäßigkeit des Herzschlags.

O. Schulz: Über den Einfluß der Milzexstirpation auf die Zahl der Blutkörperchen.

Diskussion: Gerhardt, Fuchs, Heinz, Spuler, Voit, Schulz.

Sitzung am 13. Februar 1905

im hygienisch-bakteriologischen Institut.

L. Heim: Über die Widerstandsfähigkeit der Bakterien gegen Trocknung und ihre Anwendung im Seuchendienst und in der gerichtlichen Medizin.

Diskussion: Weichardt, Jordis, Schulz.

Sitzung am 13. März 1905

im pharmazeutisch-chemischen Institut.

C. Paal: 1. Über kolloidalen Palladiumwasserstoff.
2. Über rotes und blaues kolloidales Kupfer.
Diskussion: Jordis, Spuler, Heim, Schulz, Wehnelt, Paal.

Sitzung am 7. Mai 1905

im anatomischen Institut.

A. Denker: Über das Gehörorgan der Papageien.
Diskussion: Spuler, Schulz, Jordis, Denker.
A. Spuler: Resultate meiner osteogenetischen Untersuchungen.

Sitzung am 3. Juni 1905

im hygienisch-bakteriologischen Institut.

A. Spuler: Beiträge zur Lehre von der Knochenentstehung.
Diskussion: Gerlach, Hauser, Fuchs, Spuler.
W. Weichardt: Über das Heufieberheilserum und verwandte Sera.
Diskussion: Gerlach, Busch, Heim, Spuler, Weichardt.

Sitzung am 20. Juni 1905

im physikalischen Institut.

G. Hauser: Kurze Demonstrationen über die Formveränderung der Arten.
A. Spuler: Kleiner Beitrag zu demselben Thema.
Diskussion zu beiden Vorträgen: Paal, Heim, Hauser, Fuchs.
A. Wehnelt: Über die Uviollampe.

Sitzung am 16. November 1905

im hygienisch-bakteriologischen Institut.

W. Weichardt: Über Toxine aus Eiweißen.
Diskussion: Heim, Weichardt, Spuler, Busch.
F. Henrich: Demonstration von Radiotellur.

Sitzung am 13. Dezember 1905

im zoologischen Institut.

A. Fleischmann: Entwickelung der äußeren Genitalien beim Schafe.
Diskussion: Spuler, Hauser, Fleischmann.
A. Gutbier: Über Palladosammine.
Diskussion: Jordis, Gutbier.

Untersuchungen über Entladungen.

Von R. Reiger.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Eingegangen am 22. Februar 1905.

Einleitung.

Wohl über kein Gebiet der Physik liegt eine so reichhaltige Literatur vor wie über den Durchgang der Elektrizität durch Gase. Der Grund dafür ist in der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen zu suchen, in der Fülle der Probleme, die sich hier bieten, und in der fundamentalen Bedeutung, die gerade das Gebiet des Durchganges der Elektrizität durch Gase für unsere ganzen physikalischen Anschauungen im Laufe der Zeit mehr und mehr gewonnen hat.

Ein Überblick über die zahlreichen Erscheinungen läßt sich nur gewinnen, wenn man sich von ihnen von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus ein Bild zu machen sucht. In neuerer Zeit hat man mehr und mehr die Erscheinungen auf die Bewegung von positiven und negativen Ionen und deren Energieumwandlung zurückgeführt. Ein tieferes Eindringen in dieses Gebiet dürfte wesentlich dadurch gefördert werden, wenn die Versuche unter möglichst verschiedenartigen Bedingungen angestellt werden.

Die folgende Arbeit soll speziell nach zwei Richtungen hin einen Beitrag zur Kenntnis der Entladungsvorgänge liefern. Einerseits nämlich soll das Verhältnis von Ladung und Masse eines Elektrons, das bisher für Kathodenstrahlen bestimmt wurde, die von Leitern der Elektrizität ausgehen, auch für solche Kathodenstrahlen ermittelt werden, die an Isolatoren ihren Ursprung haben, und für solche, die im Gase selbst entstehen. Andererseits sollen die Potentialmessungen in der positiven Säule, die bisher fast nur für Drucke ausgeführt wurden, die

oberhalb von 1 mm Hg liegen, auch auf tiefere Drucke ausgedehnt werden.

Die beiden Aufgaben scheinen zunächst zwei ganz verschiedene Probleme zu behandeln, aber einerseits ist zu berücksichtigen, daß die zuerst gestellte Aufgabe für Kathodenstrahlen, die im Gase entstehen, nur über die Natur der Strahlen Aufschluß gibt, während die Potentialmessungen die Frage nach der Entstehung der Strahlen beantworten helfen, andererseits ist bei den tiefen Drucken die mittlere Weglänge der Elektronen relativ groß, und es besteht daher für die tiefen Drucke am ersten die Aussicht, eine Beziehung zwischen den schnell bewegten Elektronen des Kathodenstrahls und den langsamer bewegten Elektronen der positiven Säule zu finden.

Die einzelnen Erscheinungen in der positiven Säule sind in der folgenden Untersuchung meist von der Kathode ausgehend beschrieben. Dies erscheint als der natürliche Gang der Beschreibung. Denn einerseits ist das Verhalten der Entladung an der Kathode von entscheidendem Einfluß auf den ganzen übrigen Stromkreis, was bei der Anode nicht in so hohem Grade der Fall ist, andererseits wird in vielen Fällen das Verhalten der einzelnen Teile der positiven Säule durch das Verhalten der vorhergehenden Teile in der Richtung der Strombahn der negativen Elektrizität stark beeinflußt.

Es dürfte sich vielleicht überhaupt empfehlen, bei Entladungsvorgängen von der Kathode auszugehen, nachdem die große Wichtigkeit gerade der negativen Elektrizität für den Stromdurchgang durch Gase und das unipolare Verhalten derselben in vielen Fällen bekannt ist. In der Ionentheorie finden diese Tatsachen ihren Ausdruck in der kleinen, wahrscheinlich nur scheinbaren Masse des Trägers der negativen Elektrizität, des Elektrons, gegenüber dem positiv geladenen Atom oder Molekül (Materie). Man muß sich dabei stets vor Augen halten, daß die Beschreibung der Erscheinungen nicht in der Richtung der allgemein definierten Stromrichtung stattfindet.

Im Verlaufe der Untersuchung schien es wünschenswert, eine als diskontinuierlich anzusehende Entladungsform in den Bereich der Untersuchung zu ziehen. Dies führte zu einer Reihe von Beobachtungen über Kontinuität und Diskontinuität von Entladungen und zu einer vorläufigen Orientierung über den

Potentialverlauf bei der oben erwähnten Entladungsform. Daß die Potentialmessungen im 3. Abschnitt des Teiles II der Abhandlung tatsächlich in diesem speziellen Falle zu einer Orientierung im Potentialverlauf dienen können, zeigen die Versuche über die magnetische Ablenkung von Striktionskathodenstrahlen im 5. Abschnitt des Teiles II.

Diskontinuierliche Entladungen in den Bereich der Untersuchungen zu ziehen, scheint mir überhaupt wünschenswert, da die kontinuierlichen Entladungen doch nur einen speziellen Fall des Stromdurchgangs durch Gase darstellen. Eine große Reihe von Fragen über den Entladungsvorgang in Gasen wird sich erst lösen lassen, wenn auch die diskontinuierlichen Entladungen einer quantitativen Untersuchung zugänglich gemacht sind. Aus den im 1. Abschnitt des Teiles II der Abhandlung angegebenen Gründen scheint es mir vorteilhaft zu sein, hierbei von Untersuchungen mit hochgespannten Wechselströmen auszugehen, die ja bereits auch mehrfach zu Untersuchungen über Entladungen angewendet wurden[1]). Da weitere Versuche in dieser Richtung im Gange sind, so will ich auf diesen Gegenstand hier nicht näher eingehen.

Im Anschluß an die Versuche über die Kathodenstrahlen, die von Isolatoren ausgehen, wurden auch einige Versuche über lichtelektrische Zerstreuung bei Atmosphärendruck gemacht.

Die Arbeit zerfällt in folgende Teile:

I. Teil: Lichtelektrische Zerstreuung an Isolatoren bei Atmosphärendruck.

II. Teil: Untersuchungen über Entladungen bei tiefen Drucken und speziell über Striktionskathoden.

1. Kontinuitäten und Diskontinuitäten bei Entladungen.
2. Potentialmessungen bei der unempfindlichen Entladungsform.
3. Über den Potentialverlauf bei der empfindlichen Entladungsform.
4. Der anormale Anodenfall.
5. Magnetische Ablenkung von Striktionskathodenstrahlen.

---

[1]) H. Ebert, Wied. Ann. Bd. 65, S. 761. 1898; Bd. 67, S. 608. 1899 und Bd. 69, S. 372. 1899. — W. Lessing, Inaug.-Dissert., Erlangen 1902.

III. Teil: Über die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke.
   1. Die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke in der leuchtenden positiven Säule.
   2. Die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke in der dunklen positiven Säule in weiten Entladungsgefäßen.
   3. Positive Säule und Kathodenstrahlen.

IV. Teil: Die Bestimmung des Verhältnisses ε/μ für Kathodenstrahlen, die von Isolatoren ausgehen, und für Kathodenstrahlen, die im Gase selbst entstehen.
   1. Bestimmung von ε/μ für Kathodenstrahlen, die unter dem Einfluß des ultravioletten Lichtes von einer negativ geladenen Glasplatte ausgehen.
   2. Bestimmung von ε/μ für Striktionskathodenstrahlen.
   3. Bestimmung von ε/μ für Kathodenstrahlen an der Anode (Anodenkanalstrahlen).

I. Teil.

Lichtelektrische Zerstreuung an Isolatoren bei Atmosphärendruck.

Die Zerstreuung einer negativen Ladung[1]) unter dem Einfluß von ultraviolettem Licht wird vielfach als eine Eigenschaft der Metalle und weniger nichtmetallischer Leiter hingestellt. Es wurde jedoch für fast alle Körper eine lichtelektrische Empfindlichkeit nachgewiesen. Ich verweise auf die Arbeiten von A. Righi[2]), A. Stoletow[3]), J. Elster und H. Geitel[4]), E. Branly[5]), G. C. Schmidt[6]) und O. Knoblauch[7]).

[1]) Eine vollständige Zusammenstellung der Literatur über lichtelektrische Zerstreuung gibt E. v. Schweidler im Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik Bd. 1, S. 358. 1904.

[2]) A. Righi, Beibl. Bd. 12, S. 721. 1888.

[3]) A. Stoletow, C. R. Bd. 106, S. 1593. 1888.

[4]) J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. Bd. 38, S. 497. 1889; Bd. 44, S. 722. 1891 u. Bd. 59, S. 487. 1896.

[5]) E. Branly, C. R. Bd. 120, S. 829. 1895. Vgl. jedoch J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. Bd. 57, S. 24. 1896.

[6]) G. C. Schmidt, Wied. Ann. Bd. 62, S. 407. 1897; Bd. 64, S. 708. 1898.

[7]) O. Knoblauch, Zeitschr. f. phys. Chem. Bd. 29, S. 527. 1899.

Der Nachweis der lichtelektrischen Empfindlichkeit kann nach zwei verschiedenen Methoden geführt werden, die man nach G. C. Schmidt[1]) als statische und dynamische bezeichnen kann. Bei der statischen Methode wird entweder die Substanz selbst auf ein hohes negatives Potential geladen oder ein gegenüberstehendes Drahtnetz auf ein hohes positives und die zeitliche Änderung des Elektrometerausschlages mit und ohne Belichtung bestimmt. Diese Versuchsanordnung, die einer Weiterentwickelung der Methode von W. Hallwachs[2]) zum Nachweis der lichtelektrischen Zerstreuung entspricht, versagte bei einzelnen Substanzen. Dagegen zeigte sich nach G. C. Schmidt stets eine Zerstreuung bei der sogenannten dynamischen Methode. Die letztere entspricht einer Versuchsanordnung von E. Wiedemann und H. Ebert[3]), die von G. C. Schmidt[1]) in folgender Weise modifiziert wurde. Zwei parallel geschaltete Funkenstrecken sind mit den Polen einer Influenzmaschine verbunden. Die eine Funkenstrecke *a* besteht aus zwei Metallkugeln, die andere *b* aus einer Metallkugel und der zu untersuchenden Substanz in einem Porzellantiegel. Die Substanz ist mit dem negativen Pol der Influenzmaschine verbunden. Werden die Funkenstrecken so eingestellt, daß gerade der Funken in *a* übergeht und nicht in *b*, so kann die lichtelektrische Empfindlichkeit der betreffenden Substanz dadurch nachgewiesen werden, daß beim Belichten die Entladung ausschließlich durch die Funkenstrecke *b* geht.

Die Empfindlichkeit der letzten Methode erklärt sich, wie mir scheint, aus den Versuchen von H. Kreusler[4]), nach denen die lichtelektrische Empfindlichkeit der Metalle in der Nähe des Funkenpotentials stark wächst. Es muß jedoch stets auch mit der statischen Methode bei Verwendung hoher Potentiale gelingen, eine Wirkung zu erzielen, wenn nur die elektrometrische Messung verfeinert und die ultraviolette Lichtquelle verstärkt wird[5]).

[1]) G. C. Schmidt, Wied. Ann. Bd. 64, S. 708. 1898.

[2]) W. Hallwachs, Wied. Ann. Bd. 33, S. 301. 1888.

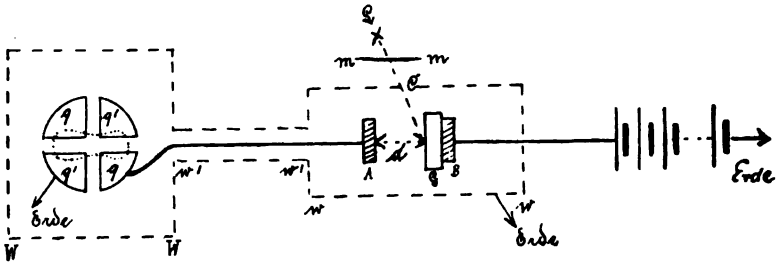
[3]) E. Wiedemann u. H. Ebert, Wied. Ann. Bd. 33, S. 241. 1888.

[4]) H. Kreusler, Ann. d. Phys. Bd. 6, S. 398. 1901.

[5]) In bezug auf die Verwendung des Lichtbogens und der Quecksilberlampe von Heräus zu lichtelektrischen Versuchen sei auf die Arbeit von W. Hallwachs, Physik. Zeitschr. Bd. 5, S. 489. 1904, verwiesen.

a) Versuchsanordnung und Fehlerquellen.

Versuchsanordnung. — Zur Messung der photoelektrischen Ströme diente ein Quadrantenelektrometer nach W. Hallwachs [1]). Die Versuchsanordnung ist die in Figur 1 gegebene.



Figur 1.

AB ist ein kleiner Kondensator. Er bestand aus zwei Messingplatten (Radius $r = 2$ cm) auf Stützen aus Ebonit, die längs einer Holzleiste verschiebbar waren. Auf die Platte B des Kondensators war die Platte G des zu untersuchenden Isolators aufgekittet. Die Platten B und G waren mit dem negativen Pol einer Batterie verbunden, deren positiver Pol geerdet war. Die Platte A war durch einen blanken Kupferdraht mit dem einen Quadrantenpaar qq des Elektrometers verbunden, das andere $q'q'$ war zur Erde abgeleitet. Die Nadel war mit dem einen Pol einer Hilfsbatterie verbunden, deren anderer Pol ebenso wie das Gehäuse des Elektrometers zur Erde abgeleitet war. Der Kondensator befand sich in einem Kasten aus Weißblech ww, in dem sich bei C ein Spalt zur Belichtung der Platte G befand. Da das Gehäuse des Elektrometers sich nicht als genügender Schutz gegen elektrostatische Einflüsse erwies, so wurde auch das Elektrometer in einen Kasten WW aus Weißblech gebracht. Die Zuleitung von A nach dem Elektrometer befand sich in einer Messingröhre $w'w'$ [2]). WW, ww und $w'w'$ waren geerdet.

Auch qq war für gewöhnlich zur Erde abgeleitet. Die

[1]) W. Hallwachs, Wied. Ann. Bd. 29, S. 1. 1886.

[2]) Zuerst wurden Glasröhren mit Stanniolbelegungen verwendet. Es traten dabei störende Potentialdifferenzen auf, vermutlich herrührend von Sn/H_2SO_4, da der verwendete flüssige Leim schwach sauer reagierte.

Verbindung zur Erde (Erdkontakt) konnte von dem Orte des Beobachtungsfernrohres aus aufgehoben werden. Vor dem Spalte C befand sich ein zur Erde abgeleitetes Metallblech mm, das ebenfalls vom Orte des Beobachtungsfernrohres aus entfernt werden konnte. Als Lichtquelle diente eine Bogenlampe L.

Die untersuchten Isolatoren waren quadratische Platten von 6 cm Seite. Zur Ladung dieser Platten dienten kreisförmige Stanniolbelege (Radius $r = 2$ cm), die auf der Rückseite mit flüssigem Leim aufgeklebt waren. Ein an den Stanniolbeleg angelöteter Kupferdraht war mit dem Pol der Batterie und der Messingplatte B des Kondensators verbunden. Die Oberfläche des Isolators nahm, wie die später mitgeteilten Versuche zeigen, tatsächlich das Potential des Stanniolbeleges an.

Die Empfindlichkeit des Elektrometers wurde für jede Versuchsreihe am Anfang und Ende festgestellt, sie betrug meist $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ Volt pro Skalenteil. Die Stromstärke wurde in der Regel aus der Ladung in 30 Sekunden nach der Formel $i = C \frac{dV}{dt}$ bestimmt. Die Kapazität C des geladenen Systems wurde durch Ladungsteilung mit einer Kugel von 10 cm Radius bestimmt, wobei die Kapazität des Zuleitungsdrahtes berücksichtigt wurde.

Fehlerquellen. — Die Messung der schwachen Ströme stellte große Anforderungen an die Isolation von Elektrometer und Kondensator. Eine vollständige Isolation des Systemes konnte nicht erzielt werden. Wurde das Elektrometer auf ein Potential von etwa 0,5 Volt geladen, so zeigte sich infolge Leitung der Hartgummiteile eine langsame Abnahme des Elektrometerausschlages. Der Ladungsverlust des Systemes entsprach Strömen, die meist kleiner als $0{,}1 \cdot 10^{-13}$ Ampère waren.

Wurde an B und den Stanniolbeleg von G ein hohes Potential angelegt, so zeigte sich zunächst, wenn unmittelbar nach Anlegung des Potentials der Erdkontakt aufgehoben wurde, ein starker Elektrometergang. Nach einigen Minuten war jedoch der Elektrometergang schon sehr gering und verschwand schließlich vollständig. Der Elektrometergang ist als eine Influenzwirkung der allmählich sich ladenden Isolatorplatte auf die Platte A des Kondensators aufzufassen. Ein direkter Strom von B nach A, durch die Ebonitstützen und die Holzleiste, der eben-

falls anfangs auftrat, konnte beseitigt werden, indem die Holzleiste, auf der die Kondensatorplatten verschiebbar waren, mit Stanniol beklebt wurde, das zur Erde abgeleitet war.

War die Isolatorplatte längere Zeit auf ein hohes Potential geladen und wurde sie dann zur Erde abgeleitet, so trat lebhafter Elektrometergang nach der entgegengesetzten Seite ein, wenn unmittelbar nach Ableitung der Kondensatorplatte B und des Stanniolbeleges von G der Erdkontakt bei qq aufgehoben wurde. Der Elektrometergang nahm ständig ab und wurde schließlich Null.

Die Messungen wurden daher stets längere Zeit nach Anlegung des Potentiales vorgenommen und stets zuerst der Elektrometergang ohne und dann mit Belichtung gemessen. Betrug der erstere weniger als $2\,\%$ des letzteren, so ist der im folgenden angegebene Wert einfach die Differenz der beobachteten Ströme mit und ohne Belichtung. War der Unterschied größer als $2\,\%$, so ist dies jedesmal besonders vermerkt.

Störende Einflüsse machten sich auch bemerkbar unmittelbar nach Anlegen des Nadelpotentiales und vor allem bei einem Wechsel des Nadelpotentiales.

War z. B. 24 Stunden lang das ganze System zur Erde abgeleitet und nur die Nadel auf 80 Volt geladen, so trat nach Aufhebung des Erdkontakts von qq zwar ein Elektrometergang ein, aber der Ausschlag des Elektrometers entsprach einem Strom, dessen Intensität meist kleiner als $0{,}04 \cdot 10^{-13}$ Ampère war. Wurde dagegen das Nadelpotential geändert, so traten Ladungen auf, die Strömen bis zu $1{,}0 \cdot 10^{-13}$ Ampère entsprachen.

b) Die wirksamen Strahlen.

Die wirksamen Strahlen liegen bei den meisten Körpern, von denen lichtelektrische Ströme ausgehen, im Ultraviolett. Auch bei den Isolatoren sind es vor allem die äußersten ultravioletten Strahlen, die wirksam sind. Da der lichtelektrische Strom der Intensität der auffallenden ultravioletten Strahlen proportional ist, so gestattet das Verhältnis des Stromes mit und ohne die absorbierende Substanz ein Urteil über die Intensität der durchgegangenen wirksamen Strahlen zu gewinnen.

In Tabelle 1 ist für verschiedene absorbierende Medien die Menge der durchgegangenen, für eine Glasplatte wirksamen

Strahlen aus den Strömen mit und ohne absorbierende Substanz berechnet und in Prozenten angegeben.

Tabelle 1.

Absorbierende Substanz	Dicke mm	Durchgegangene wirksame Strahlen
Glimmer	0,03	3 %
„	0,26	< 0,5 „
Glas (weiß, gelb und blau) . .	1,9—2,5	< 0,5 „
Flußspat	3,07	15 „
Quarz I	2,52	75 „
„ „	5,03	60 „
Quarz II	3,83	60 „
Quarz III	3,00	15 „

Auffallend ist der Unterschied zwischen den verschiedenen Quarzplatten, speziell zwischen den beiden mit I bezeichneten Platten und der Platte III. Die starke Absorption der wirksamen Strahlen durch Flußspat dürfte zum größten Teil darauf zurückzuführen sein, daß die verwendete Platte nicht sehr klar war.

Bei den stark absorbierenden Medien Glas und Glimmer betrug der Elektrometergang ohne Belichtung mehr als 2% des Elektrometerganges bei Belichtung mit absorbierender Substanz. Dies war speziell der Fall bei Glas und Glimmer von der Dicke 0,26 mm.

Aus Tabelle 1 könnte man schließen, daß die ultravioletten Strahlen allein auf Glas wirksam sind. Es scheint mir jedoch wahrscheinlich, daß auch die sichtbaren Strahlen eine, wenn auch sehr geringe Zerstreuung der negativen Elektrizität hervorbringen. Dafür sprechen einige Versuche mit einer etwas modifizierten dynamischen Methode.

An den Enden eines Lecherschen Drahtsystems wurden Kondensatorplatten angebracht. Auf diese kamen elektrodenlose Röhren zu liegen, in denen der Druck einige Millimeter Hg betrug. Die Brücke wurde verschoben, bis im Dunklem gerade keine leuchtende Entladung eintrat. Wurde die Röhre mit einer Glühlampe belichtet oder mit diffusem Sonnenlicht, so trat sofort eine leuchtende Entladung ein.

Die Erscheinung war meist erst nach einigen Vorversuchen zu erhalten. Hat man aber einmal die günstigen Versuchs-

bedingungen für das Auftreten der Erscheinung hergestellt, so reagiert die Röhre stets auf einen auffallenden Lichtstrahl.

Der Grund dieser Erscheinung dürfte in folgendem zu suchen sein: Unter dem Einfluß des Lichtes werden von dem Glas negative Elektronen, d. h. Kathodenstrahlen ausgesandt. Die Strahlung ist an und für sich schwach, bewirkt aber eine schwache Ionisation der Luft, und dadurch fällt die Spannung, die zur Einleitung einer leuchtenden Entladung nötig ist, und es wird die Entladung schon bei etwas niedrigerem Potential einsetzen. Ist dagegen keine Ionisation vorhanden, so wird keine leuchtende Entladung erzielt, da das eventuell nur wenige Volt höhere Potential, das zur Einleitung einer leuchtenden Entladung nötig wäre, gerade nicht erreicht wird.

An eine direkte Herabsetzung des Kathodenpotentiales an sich ist nicht zu denken. Dies zeigen die Versuche von W. C. Baker[1]) mit den lichtelektrisch sehr viel empfindlicheren Zn-Elektroden. Bei der Bestrahlung der Zn-Elektrode mit ultraviolettem Licht wurde der Potentialabfall an der Kathode nicht herabgesetzt, dagegen sank das Potential, das zum Einsetzen der Entladung nötig war, von 558 auf 510 Volt.

Bei den obigen Versuchen ist noch zu berücksichtigen, daß ultraviolettes Licht, wenigstens die hauptsächlich wirksamen Strahlen großer Brechbarkeit, fast gar nicht mehr vorhanden waren, denn das diffuse Sonnenlicht mußte außer durch die Glaswand der Entladungsröhre auch noch durch ein doppelwandiges Glasfenster gehen. Daß überhaupt noch eine Wirkung vorhanden war, scheint mir darauf zurückzuführen zu sein, daß die lichtelektrische Empfindlichkeit für Spannungen wie im lufterfüllten Raum in der Nähe des Funkenpotentiales[2]), so auch im luftverdünnten Raum in der Nähe des Kathodenfalles wahrscheinlich stark wächst.

Den definitiven Schluß, daß bei Glas auch die sichtbaren Strahlen eine Zerstreuung hervorbringen, möchte ich aus den obigen Versuchen noch nicht ziehen, denn es könnte immerhin noch möglich sein, daß der lichtelektrische Effekt durch eine

[1]) W. C. Baker, Cambr. Proc. Bd. 11, S. 472. 1902. Beibl. Bd. 27, S. 84. 1903.

[2]) H. Kreusler, a. a. O.

Spur von Alkalimetall[1]) bedingt ist, das durch frühere Entladungen freigemacht wurde, denn bei Alkalimetallen wirken ja besonders die sichtbaren Strahlen[2]).

c) Unipolarität der Wirkung.

Entspricht die lichtelektrische Zerstreuung Kathodenstrahlen, die von den belichteten Körper ausgehen, so muß der Charakter der lichtelektrischen Zerstreuung streng unipolar sein, wie dies in der Tat bisher stets gefunden wurde.

In Tabelle 2 sind die Ströme mit und ohne Belichtung bei wechselnder Ladung einer Glasplatte gegeben.

Tabelle 2.

Pot. der Glaspl. (Volt)	Strom (Amp.) ohne Bel.	mit Bel.
+ 1200	$0{,}12 \cdot 10^{-13}$	$0{,}21 \cdot 10^{-13}$
— 1200	$0{,}09 \cdot 10^{-13}$	$16{,}8 \cdot 10^{-13}$
+ 1200	$0{,}20 \cdot 10^{-13}$	$0{,}36 \cdot 10^{-13}$

Die Tabelle zeigt, daß auch bei positiver Ladung der Platte ein etwas größerer Strom bei der Belichtung übergeht als ohne die Belichtung. Es dürfte dies jedoch teils von der Wirkung des ultravioletten Lichtes auf die Luft[3]) herrühren, teils dadurch bedingt sein, daß an der Glasplatte diffus reflektiertes Licht auf die Platte A des Kondensators fällt, hier negative Elektrizität zerstreut und dadurch einen positiven Elektrometergang bedingt.

d) Lichtelektrische Zerstreuung an Glasplatten.

1. Die lichtelektrische Zerstreuung war für verschiedene Glasplatten verschieden, jedoch für alle untersuchten Glasplatten von derselben Größenordnung.

[1]) E. Warburg u. T. Ihmori (Wied. Ann. Bd. 27, S. 481. 1886) haben gezeigt, daß die durch Wägung gemessene Wasserhaut, welche sich bei alkalihaltigem Glas oberhalb der Temperatur des Taupunktes bildet, von einer kleinen Quantität freien oder locker gebundenen Alkalis herrührt.

[2]) J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. Bd. 52, S. 433. 1894.

[3]) P. Lenard, Ann. d. Phys. Bd. 1, S. 486. 1900.

In Tabelle 3 ist der lichtelektrische Strom für $V = -1200$ Volt für verschiedene Glasplatten gegeben. Der Abstand der belichteten Oberfläche von der Kondensatorplatte A war 2 cm. Der Abstand des Flammenbogens betrug 12,5 cm. Der Strom in der Bogenlampe war 4,5 Ampère.

Tabelle 3.

Glasplatte	Dicke (cm)	Lichtelektr. Strom
1. Fensterglas, stark grünlich . . .	0,35	$4{,}5 \cdot 10^{-13}$
2. „ schwach grünlich . .	0,14	$10{,}1 \cdot 10^{-13}$
3. Weißes Glas	0,12	$16{,}4 \cdot 10^{-13}$
4. „ „	0,22	$13{,}1 \cdot 10^{-13}$
5. Spiegelglas	0,63	$5{,}5 \cdot 10^{-13}$
6. „	0,69	$6{,}5 \cdot 10^{-13}$
7. Fensterglas mit matter Oberfläche .	0,26	$16{,}4 \cdot 10^{-13}$
8. Farbiges Glas, rot	0,17	$12{,}8 \cdot 10^{-13}$
9. „ „ gelb-braun	0,22	$19{,}9 \cdot 10^{-13}$
10. „ „ grün	0,23	$12{,}3 \cdot 10^{-13}$
11. „ „ blau	0,22	$10{,}3 \cdot 10^{-13}$
12. „ „ rötlich-violett . . .	0,30	$13{,}1 \cdot 10^{-13}$

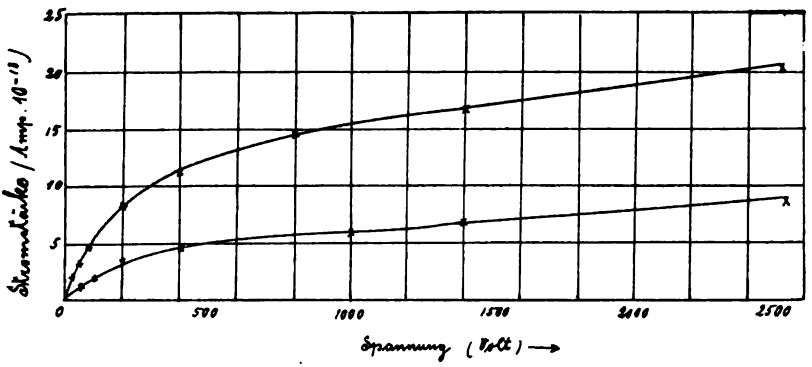
2. Die Intensität des lichtelektrischen Stromes nimmt zu mit dem Potential der Glasplatte in der für die unselbständige Strömung charakteristischen Weise.

Tabelle 4 gibt die lichtelektrischen Ströme für einige Glasplatten in ihrer Abhängigkeit vom Potential bei Atmosphärendruck. Der Abstand der Kondensatorplatte A von der Glasplatte G betrug wie oben $d = 2$ cm. Der Abstand der Lichtquelle war 12—13 cm. Die Stromstärke in der Bogenlampe ist mit J bezeichnet.

Bei den mit * versehenen Stromstärken betrug der Elektrometergang ohne Belichtung mehr als 2 % des Elektrometerganges mit Belichtung, und zwar bei 8 Volt 3 %, bei 4 Volt 10 % und bei 2 Volt 32 %. Bei 0 Volt war kein Unterschied des Elektrometerganges mit und ohne Belichtung zu beobachten. Der Elektrometergang ohne Belichtung betrug bei den niedrigen Potentialen im Maximum 0,5 Skalenteile in 90 Sekunden. In Figur 2 ist die Beziehung zwischen der Intensität des lichtelektrischen Stromes und der Spannung für die Glasplatten Nr. 9 und Nr. 1 gegeben.

Tabelle 4.

Glaspl. Nr. 9 J = 4,2		Glaspl. Nr. 1 J = 5,0		Glaspl. Nr. 6 J = 5,0	
Pot. d. Glaspl. (Volt)	Lichtelektr. Strom (Amp. 10^{-13})	Pot. d. Glaspl. (Volt)	Lichtelektr. Strom (Amp. 10^{-13})	Pot. d. Glaspl. (Volt)	Lichtelektr. Strom (Amp. 10^{-13})
— 2	< 0,04*	— 20	0,4	— 20	0,7
— 4	0,12*	— 40	1,0	— 40	1,6
— 8	0,41*	— 80	1,6	— 80	2,5
— 12	0,75	— 200	3,2	— 200	4,9
— 16	1,0	— 400	4,2	— 400	5,8
— 20	1,3	— 800	5,6	— 800	7,6
— 40	2,5	—1400	6,6	—1400	11,1
— 80	4,8	—2600	8,2	—2600	12,4
— 200	8,2				
— 400	11,4				
— 800	14,8				
—1400	16,9				
—2600	20,6				



Figur 2.

Die Kurven zeigen, daß bei Glas die Beziehung zwischen Intensität und Spannung dieselbe ist, wie sie für die lichtelektrischen Ströme bei Metallen zuerst von E. v. Schweidler[1]) gefunden wurde. Diese Beziehung stellt, wie sich gezeigt hat, überhaupt den charakteristischen Verlauf[2]) der Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung für jede unselbständige Strö-

[1]) E. v. Schweidler, Wien. Ber. Bd. 108, IIa, S. 273. 1899.
[2]) J. S. Townsend, Phil. Mag. (6). Bd. 1, S. 198. 1901.

mung[1]) dar, d. h. für jede Strömung, bei der die Ionisation durch einen sekundären Ionisator geschaffen wird.

Für kleine E.M.K. steigt die Intensität linear an, für die mittleren E.M.K. tritt die charakteristische Kurve des Sättigungsstromes deutlich hervor. Für die höchsten beobachteten E.M.K. zeigt die Kurve jedoch deutlich, daß ein weiteres Steigen der Intensität stattfindet.

e) Darf das Potential an der Glasoberfläche gleich dem Potential des Stanniolbeleges gesetzt werden?

Wir haben in den bisherigen Versuchen angenommen, daß die bestrahlte Glasoberfläche das Potential des Stanniolbeleges besitzt. Daß die Glasoberfläche dieses Potential annimmt, läßt sich leicht zeigen, wenn man durch eine Sonde das Potential an der Glasoberfläche bestimmt. An einen Kupferdraht war ein Stanniolstreifen von $^1/_2$ mm Breite angelötet. Das äußerste Ende des letzteren wurde an die Vorderfläche der Glasplatte angeklebt, deren hinterer Stanniolbeleg auf ein Potential V_1 geladen wurde. Das mit der Sonde verbundene Elektrometer zeigte nach einiger Zeit das Potential $V_2 = V_1$ an, sobald das Elektrometer sehr gut isoliert war. War die Isolation des Elektrometers schlecht, so war das Verhältnis V_2/V_1 stets konstant, auch wenn V_1 innerhalb der weitesten Grenzen sich änderte. Es ging dann ein Strom durch die Glasplatte und das Elektrometer zur Erde. Das Elektrometer kann daher in diesem Falle zu Sondenmessungen nur benutzt werden, wenn der Widerstand im Elektrometer so groß ist, daß der Widerstand der Glasplatte dagegen verschwindet.

Die Tatsache, daß die Oberfläche der Glasplatte das Potential des Stanniolbeleges schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit (einigen Minuten) annimmt, berechtigt jedoch noch nicht zu der Annahme, daß bei dem lichtelektrischen Strome die Glasplatte das Potential des Stanniolbeleges hat, es wird vielmehr, wenn E das Potential des Stanniolbeleges, w der Widerstand der Glasplatte und i die Intensität des lichtelektrischen Stromes ist, das Potential e der Glasplatte gegeben sein durch:

$$e = E - iw.$$

[1]) J. Stark, Ann. d. Phys. Bd. 4, S. 402. 1901.

Nur wenn iw klein ist gegen E, sind wir berechtigt $e = E$ zu setzen.

Daß wir in der Tat bei den schwachen lichtelektrischen Strömen $e = E$ setzen können, zeigt der folgende Versuch: Da die lichtelektrische Zerstreuung an Ruß sehr viel größer ist als an Glas, so kann der durch das Ohmsche Gesetz bedingte Spannungsabfall an dem Isolator vernachlässigt werden, wenn die Zerstreuung an einer berußten Glasoberfläche nur wenig von der Zerstreuung an einer berußten Metalloberfläche abweicht. Tabelle 5 gibt einen Vergleich der Zerstreuung an einer berußten Aluminium- und Messingplatte mit einer berußten Glasplatte (Nr. 4 in Tabelle 3).

Tabelle 5.

Pot. d. Glaspl. (Volt)	Lichtelektrischer Strom in Amp. 10^{-13} bei berußtem		
	Glas	Aluminium	Messing
— 2	3,0	3,1	—
— 4	8,7	9,9	9,5
— 8	29,0	28,1	—

Aus den Beobachtungen ergibt sich, daß der lichtelektrische Strom für berußte Metall- und Glasplatten bei kleinen E.M.K. nahezu denselben Wert hat. Bei — 8 Volt war der Strom bei Glas stärker als bei Aluminium. Dies rührte von Intensitätsschwankungen der Bogenlampe her.

Um direkt den Spannungsabfall längs der Glasplatte angeben zu können, wurde die Größenordnung des Widerstandes der Glasplatte nach zwei Methoden bestimmt.

1. Die Glasplatte wurde auf beiden Seiten mit Stanniolbelegen versehen und in Paraffin eingeschmolzen, um die Oberflächenleitung zu verhindern. Der eine Stanniolbeleg wurde mit den Quadranten qq des Elektrometers (Figur 1), der andere mit dem einen Pol zweier hintereinander geschalteter Akkumulatoren verbunden, deren anderer Pol geerdet war. Wurde der Erdkontakt bei qq aufgehoben, so stellte sich ein Elektrometergang ein, der nach einigen Sekunden vollkommen konstant war; es

konnte also $\frac{dQ}{dt}$ bestimmt werden. Es ergab sich die Stromstärke zu $45 \cdot 10^{-18}$ Amp. und damit der Widerstand der Glasplatte zu $\gamma = 8{,}9 \cdot 10^{11}$ Ohm.

2. Der Widerstand einer kreisförmigen Glasplatte, die zu der Bestimmung des Verhältnisses ε/μ für Kathodenstrahlen, die von Isolatoren ausgehen, im IV. Teil dieser Abhandlung benützt wird, wurde auf folgende Weise bestimmt: Ein großer Widerstand, bestehend aus einem in Paraffin eingeschmolzenen Holzstab[1]), wurde mit einer Batterie von 3180 Volt und einem empfindlichen Galvanometer nach dem Ohmschen Gesetz bestimmt. Es wurden dann die Glasplatte und der Holzwiderstand in dem Stromkreis der Batterie hintereinander geschaltet und mit einem Warburgschen Quadrantenelektrometer der Spannungsabfall längs des Holzwiderstandes bestimmt. Es ergab sich der Widerstand der Glasplatte zu $\gamma = 4{,}13 \cdot 10^{11}$ Ohm.

Berechnet man aus dem oben gefundenen Werte des Widerstandes den Spannungsabfall längs der Glasplatte für die lichtelektrischen Ströme bei verschiedenen E.M.K., so ergibt sich für die Glasplatte Nr. 9 in Tabelle 4:

iw	$<0{,}004$	0,04	0,12	0,22	0,73	1,32	1,84
E	-2	-8	-20	-40	-200	-800	-2600

Die Abweichungen von E und e sind so klein, daß wir berechtigt sind, das Potential der Glasoberfläche gleich dem Potential des Stanniolbeleges zu setzen. In Wirklichkeit sind die Abweichungen E und e noch viel kleiner, denn wir müssen berücksichtigen, daß wir bei den obigen Versuchen die Oberflächenleitung des Glases eliminiert haben, die bei den lichtelektrischen Versuchen nicht beseitigt war. Für die intensiven Ströme bei kleinen E.M.K. bei berußter Glasoberfläche müßte das Potential an der Glasoberfläche sonst wesentlich kleiner sein als an berußtem Aluminium.

Bestimmt man nach der zweiten Methode den Widerstand der Glasplatten, wenn diese nicht in Paraffin eingeschmolzen sind, so ergeben sich für die Glasplatten, die zu den Versuchen der Tabelle 3 benützt wurden, Widerstände von der Größenordnung $\gamma = 5 \cdot 10^{10}$ bis $9 \cdot 10^{10}$ (die letzteren Werte für die

[1]) E. Voigt, Ann. d. Phys. Bd. 12, S. 385. 1903.

Spiegelglasplatten). Daraus erklärt sich, daß in Tabelle 5 die lichtelektrischen Ströme an berußtem Glas fast ebenso groß waren wie an berußtem Aluminium.

f) Lichtelektrische Zerstreuung an verschiedenen Isolatoren.

Die bisherigen Beobachtungen haben sich auf Glas beschränkt, es findet jedoch auch an anderen Isolatoren eine lichtelektrische Zerstreuung statt.

Tabelle 6 enthält einige Beobachtungen bei einer Ladung des Stanniolbeleges auf — 2400 Volt. Der Strom in der Bogenlampe war 5 Amp.

Tabelle 6.

Isolator	Dicke (mm)	Lichtel. Strom Amp. 10^{-13}
Ebonit	1,05	17,8
„	2,94	70,0
„	5,07	33,5
Glimmer	0,6	18,8
Siegellack	2,85	35,2
Wachs	4,7	2,3
Kolophonium . . .	4,75	16,4

Die Platten aus Siegellack, Wachs, Kolophonium und Paraffin wurden durch Gießen der geschmolzenen Substanz auf (erwärmtes) Quecksilber erhalten.

Vergleicht man die Intensität der lichtelektrischen Ströme für die drei Ebonitplatten, so sieht man, daß deren lichtelektrische Empfindlichkeit verschieden, jedoch von derselben Größenordnung ist. Der Widerstand kann nach den Beobachtungen an den Platten verschiedener Dicke für die Intensität der Ströme nicht wesentlich in Betracht kommen. Berechnet man aus den Angaben von J. Curie[1]) für die Leitfähigkeit von Ebonit den Spannungsabfall längs der Platten, so ist das Potential an der bestrahlten Isolatorfläche um 50 resp. 600 und 500 Volt kleiner als an dem Stanniolbeleg. Der Unterschied in der lichtelektrischen Empfindlichkeit würde somit für die einzelnen Platten noch größer sein, als die Tabelle zeigt. Es ist jedoch

[1]) J. Curie, Ann. de chim. et phys. (6) Bd. 17, S. 385. 1889.

wahrscheinlich, daß infolge der Oberflächenleitung der Potentialunterschied zwischen Stanniolbeleg und Isolatoroberfläche nur wenige Volt betrug und daher praktisch nicht in Betracht kommt.

Die lichtelektrischen Ströme bei Paraffin waren äußerst schwach. Bei Verwendung sehr viel größerer Lichtintensität konnten jedoch Ströme von $1 \cdot 10^{-13}$ Amp. erzielt werden. Bei der Intensität der lichtelektrischen Ströme dürfte der Widerstand der Paraffinplatte eine wesentliche Rolle spielen.

Die Versuche haben gezeigt, daß die lichtelektrische Zerstreuung bei den Isolatoren in derselben Weise wie bei den Metallen auftritt. Die Erscheinungen unterscheiden sich für verschiedene Substanzen nur durch die Intensität der Ströme. Die Intensität der lichtelektrischen Ströme wurde für Isolatoren kleiner gefunden als für Kohle (und auch Aluminium)[1]). Der Unterschied rührt nicht von dem Widerstand der Isolatorplatten her, da der Spannungsabfall längs der Isolatorplatte vernachlässigt werden kann, wenn die Dicke der Isolatorschicht klein ist.

Nach den Versuchen von P. Lenard[2]) entspricht die Zerstreuung an Metallen Kathodenstrahlen, die von dem Metall ausgehen und in nächster Nähe desselben absorbiert werden. Dasselbe trifft auch für Isolatoren zu, da, wie spätere Versuche zeigen werden, im Vakuum unter dem Einfluß von ultraviolettem Licht von einer negativ geladenen Isolatorplatte ebenfalls Kathodenstrahlen ausgehen.

---

[1]) Ein Vergleich mit anderen Metallen wurde nicht durchgeführt, und die Versuche von anderen Beobachtern lassen sich zum Vergleich schwer heranziehen, da die Intensität der ultravioletten Strahlungsquellen bei verschiedenen Beobachtern verschieden war. Es dürfte jedoch die lichtelektrische Empfindlichkeit von Ebonit der Empfindlichkeit einzelner Metalle wenig nachstehen.

[2]) P. Lenard, Ann. d. Phys. Bd. 2, S. 359. 1900.

II. Teil.

Untersuchungen über Entladungen bei tiefen Drucken und speziell über Striktionskathoden.

Bei einer Verengerung des Querschnittes in der positiven Säule treten an der der Anode zugewandten Seite der engen Röhre Kathodenerscheinungen[1]) auf, die mit abnehmendem Druck immer stärker hervortreten. Ich bezeichne diese Erscheinungen im folgenden stets nach E. Wiedemann und G. C. Schmidt[2]) als Striktionskathoden zum Unterschied von den sekundären Kathodenerscheinungen, die bei diskontinuierlichen Entladungen an den Sonden, beim Berühren der Wand des Entladungsrohres etc. auftreten. An der der Kathode zugewandten Seite der engen Röhre tritt Anodenlicht auf.

Bei tiefen Drucken treten an der Striktionskathode sowohl bei kontinuierlichen als bei diskontinuierlichen Entladungen Kathodenstrahlen auf, die den Ausgangspunkt für die folgenden Untersuchungen bilden.

Die gewöhnlichen Kathodenstrahlen verdanken ihre Starrheit oder im Sinne der Jonentheorie ihre Geschwindigkeit dem Kathodenfall. Bei den Striktionskathodenstrahlen muß die Quelle der Energie erst gesucht werden. E. Wiedemann und G. C. Schmidt[3]) haben darauf hingewiesen, daß möglicherweise an der Austrittsstelle ein Potentialsprung vorhanden sei.

Eine Beantwortung der Frage konnte nur auf Grund von Potentialmessungen in der positiven Säule bei Veränderung des Querschnittes der Leiterbahn getroffen werden. Fast sämtliche Bestimmungen der Potentialgradienten in der positiven Säule haben sich bisher auf Drucke oberhalb 1 mm Hg beschränkt. Der Grund dafür dürfte einerseits darin liegen, daß bei den tiefen Drucken Schichtung eintritt und ein großer Teil der Forscher sich auf die ungeschichtete positive Säule beschränkt

[1]) E. Goldstein, Wied. Ann. Bd. 11, S. 839. 1880. Eine vollständige Zusammenstellung der Literatur über Striktionskathoden findet sich bei J. Stark, Die Elektrizität in Gasen. Leipzig, 1902, S. 148.

[2]) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. Bd. 66, S. 325. 1898.

[3]) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, a. a. O., S. 331.

hat, anderseits aber dürfte der Grund vor allem in der folgenden experimentellen Schwierigkeit zu suchen sein. Damit durch eine Entladungsröhre ein Strom hindurchgeht, muß an den beiden Enden eine bestimmte Spannungsdifferenz vorhanden sein. Um die Entladung einzuleiten, muß eine Potentialdifferenz zur Verfügung stehen, die größer ist als die während des Stromdurchganges herrschende Potentialdifferenz der Gesamtentladung. Unterscheidet sich die E.M.K. unserer Hochspannungsbatterie nur wenig von der letzteren, so wird es selbst nach Einleitung des Stromes durch eine Hilfsentladung niemals möglich sein, einen kontinuierlichen Strom durch das Entladungsrohr zu senden, wie es die Messung mit Sonden verlangt.

Nach zahlreichen Versuchen sinkt mit abnehmendem Druck das Gesamtentladungspotential erst bis zu einem Minimum und steigt dann wieder stark. Das letztere beruht darauf, daß auf der positiven Säule der Potentialgradient stetig abnimmt, an der Kathode dagegen der Potentialabfall zwar konstant bleibt, bis sie vollständig mit Glimmlicht bedeckt ist, dann aber sehr schnell wächst. Der Anodenfall ist in den meisten Fällen klein.

Der Kathodenfall kann mehrere Tausend Volt betragen. Erst wenn es gelang, diesen Kathodenfall wegzuschaffen, war zu erhoffen, die Beobachtungen bis auf die tiefsten Drucke auszudehnen. Als Hilfsmittel hierzu dienten zum Glühen erhitzte Elektroden. Schon bei reinem Platin gelingt es nach W. Hittorf und E. Goldstein[2]) durch Erhitzen bis zur Weißglut, den Kathodenfall fast auf Null zu reduzieren. Dasselbe ist bei Kohlenfäden der Fall. Reines Platin zu verwenden ist aber nicht praktisch, da die Drähte leicht durchschmelzen. Die von A. Wehnelt[3]) gemachte Beobachtung, daß mit gewissen Metalloxyden bedeckte Platindrähte schon bei relativ niedriger Temperatur den Kathodenfall auf Null herabsetzen, gestatten die Beobachtungen in Entladungsröhren bis zu den tiefsten Drucken auszudehnen.

Trotzdem es gelingt, mit Hilfe der glühenden CaO-Platinelektroden dem Kathodenfall jeden beliebigen Wert zu erteilen,

[1]) W. Hittorf, Wied. Ann. 21, S. 119. 1884.

[2]) E. Goldstein, Wied. Ann. 24, S. 79. 1885.

[3]) A. Wehnelt, Sitz.-Ber. d. phys.-med. Soz. in Erlangen Bd. 35, S. 115. 1903; Ann. d. Phys. Bd. 14, S. 425. 1904.

war es häufig schwierig, kontinuierliche Entladungen zu bekommen. Es ist daher im folgenden zunächst eine Reihe von Beobachtungen über Kontinuität und Diskontinuität der Entladungen mitgeteilt. Es folgen dann Potentialmessungen bei den kontinuierlichen Entladungen und einige Beobachtungen über die Potentialverteilung bei einer scheinbar kontinuierlichen Entladung. Bei den Potentialmessungen ergab sich mitunter ein anormal hoher Anodenfall, über dessen Auftreten einige Beobachtungen angestellt wurden, da er neben den Kathodenstrahlen, die an einer Striktionskathode auftreten, eine zweite Möglichkeit gibt, das Verhältnis ε/μ für Kathodenstrahlen zu bestimmen, die im Gase selbst ihren Ursprung nehmen. Es folgen dann noch einige Beobachtungen über die magnetische Ablenkung von Striktionskathodenstrahlen und deren Beziehungen zu den Potentialmessungen.

1. Kontinuitäten und Diskontinuitäten bei Entladungen.

a) Formen der Entladung.

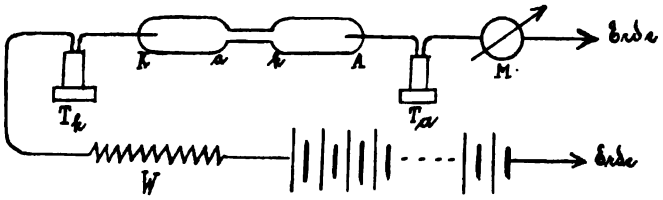
Im folgenden sollen zunächst die äußeren Erscheinungen beschrieben werden, wie sie bei Entladungsröhren von variabelem Querschnitt, z. B. bei den gewöhnlichen Geißlerschen Röhren, bei tiefen Drucken beobachtet wurden. Es treten hier zwei Entladungsformen [1]) auf, die im folgenden als empfindliche und unempfindliche bezeichnet werden sollen. Bei ersterer Entladungsform erweisen sich einzelne Teile der Entladungsröhre gegen genäherte Leiter stark empfindlich, bei der anderen dagegen ist dies nicht der Fall. Die beiden Entladungsformen decken sich nicht mit der Einteilung in kontinuierliche und diskontinuierliche Entladungen. Es soll daher im folgenden die Entladung stets auf ihre Kontinuität näher untersucht werden.

Als Stromquelle für die Entladungsröhren diente eine Hochspannungsbatterie von 3000 Volt, deren negativer Pol durch

---

[1]) Ähnliche Erscheinungen, wie sie im folgenden für tiefe Drucke beschrieben sind, wurden von M. Toepler auch bei Dauerentladung durch Luft von Atmosphärendruck beschrieben. Man vergleiche speziell über Grenzstromstärken und die Begleiterscheinungen beim Übergang von einer Entladungsform in die andere M. Toepler, Wied. Ann. Bd. 66, S. 660. 1898, und Ann. d. Phys. Bd. 6, S. 339. 1901.

einen Jodkadmiumwiderstand W und das Telephon T_k mit der Kathode K des Entladungsrohres verbunden war. Der geerdete positive Pol der Batterie war durch ein Milliamperemeter M und ein Telephon T_a mit der Anode A verbunden. (Figur 3.)



Figur 3.

Als Kathode diente ein glühender Platindraht, der mit CaO bedeckt war[1]).

Bei den kleinsten verwendbaren Stromstärken im Entladungsrohr trat nur die empfindliche Entladungsform auf. Steigt die Stromstärke, so sind von einer bestimmten Stromstärke i_1 an beide Entladungsformen möglich, und oberhalb einer gewissen Stromstärke i_2 tritt nur noch die unempfindliche Entladungsform auf. Innerhalb des Stromintervalles i_1 und i_2 hängt die Entladungsform vom Glühzustand der Kathode ab. Die Grenzstromstärken[2]) i_1 und i_2 hängen außer vom Druck auch von den Kapazitätsverhältnissen des Rohres ab, wie sie durch die Dimensionen von Ka, ak und kA, durch Einführung von Sonden etc. bestimmt sind.

Die beiden Entladungsformen unterscheiden sich dem äußeren Aussehen nach besonders deutlich, wenn Wasserstoff[3]) in der Röhre vorhanden ist, und sollen daher für diesen Fall besonders beschrieben werden.

1. Unempfindliche Entladungsform (große Stromstärken). Die positive Säule erfüllt in den weiten Röhrenteilen den ganzen Querschnitt und ist bis zu den tiefsten Drucken stets geschichtet, während in der engen Röhre bei den tiefen

---

[1]) S. S. 40.

[2]) S. S. 64.

[3]) S. S. 39. Über die Färbung der Schichten bei Wasserstoff vgl. W. Crookes, Proc. Roy. Soc. Bd. 69, S. 399. 1902; Beibl. Bd. 27, S. 958. 1903.

Drucken die Schichtung verschwunden ist. Der Druck, bei dem die Schichtung verschwindet[1]), hängt von dem Querschnitt des engen Rohres ab und wurde für verschieden lange Röhren verschieden gefunden, ändert sich also auch mit der Länge (Kapazität) der Röhre.

An der Anode bei *A* und ebenso an der Striktionsanode bei *a* sitzt ein roter Lichtpunkt, der von einem blauen Saum umgeben ist. Es folgen dann in beiden Fällen blaßrote Schichten, die bei höheren Drucken alle am Schichtenkopf von einem scharf begrenzten blauen Saum umgeben sind. Bei den tiefen Drucken dagegen ist dies nur für die erste Schicht der Fall, die an den Faradayschen dunklen Raum grenzt, der die positive Säule von dem Glimmlicht an der Striktionskathode bei *k*, resp. an der glühenden Kathode bei *K* scheidet. In einem Falle wurde der blaue Saum auch für die letzten beiden Schichten vor dem Faradayschen dunklen Raum beobachtet, während bei allen übrigen Schichten der Schichtenkopf keine blaue Umgrenzung aufwies.

Die Entladung erscheint im rotierenden Spiegel und mit Telephon meist kontinuierlich. Ist dies nicht der Fall, so läßt sich durch Änderung des Glühzustandes der Kathode leicht eine kontinuierliche Entladung erzielen.

2. Empfindliche Entladungsform (kleine Stromstärken). Die positive Säule ist im engen und in den meisten Fällen auch im weiten Rohr ungeschichtet. In dem weiten Rohre tritt jedoch mitunter Schichtung auf. Der Querschnitt, der von der positiven Säule in der weiten Röhre eingenommen wird, ist kleiner als bei der unempfindlichen Entladungsform. Der blaue Saum der Anodenschicht, der positiven Säule gegen den dunklen Raum, resp. der einzelnen Schichten ist verschwunden.

So lange man nicht zu sehr kleinen Stromstärken übergeht, ist es durch Änderung des Glühzustandes der Kathode und des Widerstandes des Schließungskreises in den meisten Fällen zu erreichen, daß die Entladung als vollkommen kontinuierlich erscheint. Es ist dann weder mit Telephon in Zu- und Ableitung, noch mit rotierendem Spiegel eine Diskontinuität zu beobachten. Trotzdem zeigt sich die Ent-

[1]) Vgl. S. 43 u. S. 94.

ladung gegen genäherte Leiter empfindlich, mögen diese der Entladungsröhre nur genähert oder in die Entladungsröhre selbst gebracht werden, wie dies bei der Einführung von Sonden der Fall ist. Besonders empfindlich sind die Röhrenteile in der Nähe der Kathode. Durch Anlegen des Elektrometers an die Sonden in dem Röhrenteil *Ka* und in der ersten Hälfte von *ak* geht die gegenüber Telephon und rotierendem Spiegel kontinuierlich erscheinende Entladung leicht in eine nachweisbar diskontinuierliche über. Oft genügt schon ein Berühren der Glaswand der betreffenden Röhrenteile, um eine Diskontinuität hervorzurufen. Aber selbst wenn mit rotierendem Spiegel und Telephon die Entladung vollständig kontinuierlich erscheint und diesen kontinuierlichen Charakter auch beibehält beim Berühren der Glaswand und beim Anlegen des Elektrometers oder einer anderen Kapazität an die Sonden, so tritt doch in den meisten Fällen an der Berührungsstelle resp. an den Sonden ein dunkler Raum auf, und zwar ist dieser dunkle Raum wiederum besonders groß in den Röhrenteilen in der Nähe der Kathode, während im Striktionsglimmlicht und in der Nähe der Anode der dunkle Raum meist sehr wenig, mitunter auch überhaupt nicht sichtbar ist.

Ging man durch Änderung der Stromstärke (oder durch Änderung des Glühzustandes der Kathode) von der unempfindlichen zu einer empfindlichen Entladung über, die gegenüber rotierendem Spiegel und Telephon kontinuierlich erschien, so zeigten sich beim Übergang starke Diskontinuitäten, die mit den genannten Kriterien leicht nachweisbar waren.

b) Diskontinuitäten in einzelnen Teilen der Entladungsröhre.

Bevor ich auf die Kontinuität und Diskontinuität der oben besprochenen Entladungsformen weiter eingehe, teile ich einige Beobachtungen mit, die mir für die Beurteilung des Entladungsvorganges in einem verdünnten Gase von Bedeutung erscheinen. Es zeigte sich nämlich, daß mitunter in einzelnen Teilen der Entladungsröhre eine Diskontinuität mit rotierendem Spiegel und Telephon nachzuweisen war, während in den anderen Teilen der Entladungsröhre die Entladung den angewandten Kriterien gegenüber kontinuierlich erschien.

Ähnliche Erscheinungen wurden gelegentlich von O. Lehmann[1]) und E. Wiedemann und G. C. Schmidt[2]) beobachtet.

So schreibt O. Lehmann bei Beobachtungen über den Einfluß der Form des Gefäßes auf die Entladung: „Hat die Röhre eine Form, wie die bekannten Spektralröhren, so findet die Entladung in den weiten Teilen ungestört statt. Die Elektrizität strömt aber nicht durch das Kapillarrohr, sondern dient zunächst dazu, dasselbe nach der Art des bei Influenzmaschinen gebräuchlichen Röhrenkondensators zu laden. Erst wenn dort das Potentialgefälle groß genug geworden, geht die Entladung wirklich durch die ganze Röhre. Die Entladung am Kapillarrohr erfolgt in größeren Pausen als die in den Erweiterungen, sie entladet aber auch mehr Elektrizität und erscheint somit intensiver."

E. Wiedemann und G. C. Schmidt beobachteten bei Trichterröhren bei einem Druck unter 0,5 mm Hg eine kontinuierliche Entladung, die von einzelnen diskontinuierliche Entladungen durchsetzt wurde. Im rotierenden Spiegel zeigten sich dabei die folgenden Erscheinungen: „Man hat dann allgemein ein kontinuierliches, entsprechend den Schichten aus hellen und dunklen Stellen bestehendes Band, an das sich eine disruptive ungeschichtete Entladung anschließt, die das ganze Rohr durchsetzt, und der entsprechend an der Kathode eine besonders helle Stelle eintritt. Dieser besonders hellen Entladung folgt dann eine kontinuierliche. Bei nicht zu tiefen Drucken ist das dem Trichter entsprechende Lichtband ganz kontinuierlich". In den weiten Röhrenteilen dagegen wird durch die disruptive Entladung die Entladung im Rohre teilweise unterbrochen. „An die disruptive Entladung schließt sich durch einen dunklen Raum scharf abgesetzt das kontinuierliche Band; dasselbe tritt aber sonderbarerweise nicht auf der ganzen Strecke gleichzeitig auf, sondern an den der Kathode zunächst gelegenen Teilen schneidet ein dunkler, nach der Anode zu spitz verlaufender Raum in die Entladung, und zwar sowohl an der wirklichen Kathode, als auch an der sekundären, an der Verengerung des Rohres entstehenden. Der dunkle Trennungsraum verkürzt sich gleich-

[1]) O. Lehmann, Wied. Ann. Bd. 22, S. 321. 1884.
[2]) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, a. a. O., S. 335.

sam. Das jeder einzelnen Schicht entsprechende Lichtband ist zugespitzt."

Bei meinen Versuchen wurden mit der in Figur 3 angegebenen Versuchsanordnung folgende Fälle von Diskontinuitäten beobachtet, die nur in einzelnen Röhrenteilen nachweisbar waren, und die im folgenden kurz als lokale Diskontinuitäten bezeichnet werden sollen.

1. Fall: Das Telephon T_k tönt, während in T_a kein Ton zu hören ist. Im rotierenden Spiegel erscheint *ak* und meist auch *Ka* schwach diskontinuierlich, während *kA* kontinuierlich erscheint. (Beobachtet bei Röhren, bei denen die Länge der weiten Röhrenteile *Ka* und *kA* klein war.)

2. Fall: In beiden Telephonen ist kein Ton zu hören. *Ka* und *kA* erscheinen im Spiegel kontinuierlich, *ak* erscheint (mitunter sehr stark) diskontinuierlich. (Beobachtet bei Röhren, bei denen die Länge der weiten Röhrenteile *Ka* und *kA* groß war.)

3. Fall: Im Telephon T_k ist kein Ton zu hören, während T_a tönt. *Ka* und *ak* erscheinen im Spiegel kontinuierlich, ebenso das Glimmlicht bei *k* und die positive Säule in *kA*, dagegen treten in der Anodenschicht Diskontinuitäten auf. Waren keine Diskontinuitäten, sondern nur Intensitätsschwankungen an der Anode zu beobachten, so gab das Telephon meistens nur ein Geräusch an.

4. Fall: In beiden Telephonen ist kein Ton zu hören. Im rotierenden Spiegel zeigen sich Diskontinuitäten an der Anodenschicht wie bei Fall 3.

Die Fälle 1 und 2 wurden nur bei der empfindlichen Entladungsform beobachtet, während die Fälle 3 und 4 bei beiden Formen der Entladung auftreten.

Die Telephone habe ich bei den beschriebenen Beobachtungen lokaler Diskontinuitäten stets miteinander vertauscht, um mich zu vergewissern, daß die Erscheinung nicht etwa durch eine verschiedene Empfindlichkeit derselben bedingt war. Sieht man zunächst davon ab, ob die einzelnen Entladungsformen als kontinuierlich oder diskontinuierlich anzusehen sind, so kann man jedenfalls aus den vorhergehenden Beobachtungen den Schluß ziehen:

Die Periode der Entladung kann für die Entladungsröhre selbst, für die Zuleitung und für die Ableitung verschieden sein. Ebenso kann die Zahl

der Entladungen in gleichen Zeiten für einzelne Teile der Entladungsröhre eine verschiedene sein.

Faßt man die kontinuierliche Entladung als Grenzfall auf, in dem die Zahl der Entladungen in einer Sekunde unendlich groß ist, so ist die Erscheinung, daß die Entladung in einzelnen Teilen der Röhre kontinuierlich, in anderen diskontinuierlich ist, auch in dem obigen Satze enthalten.

c) Kriterien für die Kontinuität.

Nachdem durch die Versuche von W. Hittorf[1]) und H. Hertz[2]) die Möglichkeit einer kontinuierlichen Entladung nachgewiesen worden ist, hat man sich daran gewöhnt, die Kontinuität des Entladungsstromes durch Einschalten eines Telephones in den Stromkreis zu prüfen. Die oben mitgeteilten Versuche haben gezeigt, daß es in vielen Fällen zweifelhaft erscheinen muß, ob die Entladung kontinuierlich ist, wenn das Telephon schweigt.

Betrachten wir zunächst die unempfindliche Entladung, soweit sie mit Telephon und rotierendem Spiegel kontinuierlich erscheint, so liegt kein Grund vor, diese Entladung als diskontinuierlich zu bezeichnen, so lange man nicht die Möglichkeit einer kontinuierlichen Entladung in Abrede stellt. Für die Kontinuität dieser Entladungsform spricht auch ihr ganzes Verhalten gegenüber Kapazitäten und Potentialmessungen, wie im folgenden sich zeigen wird.

Anders liegt dagegen die Sache bei der empfindlichen Entladungsform, die entschieden als diskontinuierlich anzusehen ist. Wir wollen sie im folgenden, soweit sie mit rotierendem Spiegel und Telephon kontinuierlich erscheint, als scheinbar kontinuierliche Entladung bezeichnen.

Beim Anlegen von Kapazitäten an die Sonden tritt bei der kontinuierlichen Entladung kurze Zeit ein dunkler Raum auf, er verschwindet aber, wenn die Kapazität geladen ist. Bei der diskontinuierlichen Entladung dagegen lädt und entlädt sich die angelegte Kapazität, und daher tritt an der Sonde dauernd ein dunkler Raum auf, was bei der kontinuierlichen Entladung nicht möglich ist.

---

[1]) W. Hittorf, Wied. Ann. Bd. 20, S. 705. 1883.
[2]) H. Hertz, Wied. Ann. Bd. 19, S. 782. 1883.

Da die Zahl der Entladungen für verschiedene Teile der Entladungsröhre eine verschiedene sein kann, wie wir oben gesehen haben, so ist das Telephon zur Beurteilung der Diskontinuität von vornherein nur mit Vorsicht zu gebrauchen. Versagt das Telephon in den beiden ersten Fällen der oben aufgezählten lokalen Diskontinuitäten, so wird es immer noch wahrscheinlich erscheinen, daß bei Vergrößerung der Empfindlichkeit des Telephones eine Diskontinuität nachzuweisen gewesen wäre. Dagegen muß bei Fall 3 und 4, soweit diese Fälle sich auf die unempfindliche Entladungsform beziehen, die Entladung in den Teilen der Röhre als kontinuierlich angesehen werden, in denen keine Diskontinuität nachzuweisen war, solange man nicht die Möglichkeit einer kontinuierlichen Entladung in Abrede stellt.

Es kann somit die Entladung in einzelnen Teilen der Röhre kontinuierlich, in anderen diskontinuierlich sein, und daher kann aus der Kontinuität in der Zu- oder Ableitung nicht auf die Kontinuität im Entladungsrohre geschlossen werden.

Die Stromstärken lagen bei meinen Beobachtungen zwischen 0,1 u. $10 \cdot 10^{-3}$ Ampère, also weit über den Minimalstromstärken, die von den verschiedenen Beobachtern[1]) als Grenze angegeben werden, bei der das Telephon eben noch einen wahrnehmbaren Ton hervorbringt. Die glühende Elektrode war in den Fällen, in denen die Diskontinuitäten auf das ganze Rohr sich erstreckten, auf das Telephon nur insofern von Einfluß[2]), als sich die Zahl der Entladungen mit dem Glühen änderte. Zeigten z. B. im Fall 2 der lokalen, nachweisbaren Diskontinuitäten die beiden weiten Röhren dieselbe Periode der Diskontinuität wie die Kapillare, so tönten beide Telephone laut.

Der rotierende Spiegel hat einen Vorzug vor dem Telephon, er gibt uns ein direktes Kriterium für die Stetigkeit oder Unstetigkeit der Entladung, solange die Zahl der Entladungen nicht zu groß wird. Bei dem Telephon dagegen wird aus der Kontinuität in der metallischen Zuleitung auf die Kontinuität im Entladungsrohr geschlossen. Nach den Berechnungen

---

[1]) Vgl. A. Winkelmann, Handbuch d. Physik Bd. III 2, S. 525. 1895.
[2]) Vgl. J. Stark, Ann. d. Phys. Bd. 1, S. 430. 1900.

von E. Wiedemann[1]) kann der Fall eintreten, daß die Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels nicht genügt, um die Einzelentladungen voneinander zu sondern, und daß daher die an und für sich diskontinuierliche Entladung im rotierenden Spiegel kontinuierlich erscheint.

Da die Grenze der Hörbarkeit eines Tones bei 40000 Schwingungen[2]) in einer Sekunde liegt, so versagt auch das Telephon bei einer so großen Anzahl von Entladungen in einer Sekunde.

Die Empfindlichkeit gegen genäherte Leiter kann in sehr vielen Fällen dazu dienen, die Diskontinuität nachzuweisen[3]). Unempfindlichkeit gegen genäherte Leiter kann jedoch nicht als Kriterium der Kontinuität dienen, da eine diskontinuierliche Entladung durch Einschalten von Funkenstrecken mehr oder weniger empfindlich gemacht werden kann[4]). Auch nach den oben mitgeteilten Beobachtungen treten vielfach bei diskontinuierlichen Entladungen keine wahrnehmbaren Dunkelräume an den Sonden auf; von einer Empfindlichkeit gegen genäherte Leiter war dann aber keine Rede mehr.

Auch der Kondensator, der zu der Entladungsröhre parallel geschaltet wird, versagt in vielen Fällen als Kriterium für die Kontinuität oder Diskontinuität der Entladung, da durch ihn in vielen Fällen die Art der Entladung geändert wird, wie die im folgenden gegebenen Versuche zeigen.

Wir haben somit kein für alle Fälle anwendbares Kriterium zur Bestimmung der Kontinuität oder Diskontinuität der Entladung.

Für gewöhnlich wird jedoch der Nachweis der Kontinuität mit Telephon oder rotierendem Spiegel verbunden mit Unempfindlichkeit der Entladung gegen genäherte Leiter genügen, um über die Kontinuität der Entladung zu entscheiden. Zu bemerken ist allerdings, daß z. B. bei Fall 4 der lokalen Dis-

[1]) E. Wiedemann, Wied. Ann. Bd. 10, S. 244. 1880.

[2]) O. Chwolson, Lehrbuch der Physik Bd. II, S. 135. 1904.

[3]) Kontinuierlich verlaufende, periodische Änderungen der Stromstärke im Entladungsrohre müssen dabei ausgenommen werden, da bei ihnen ebenfalls dunkle Räume auftreten werden.

[4]) Nähere Angaben über den Einfluß von Funkenstrecken finden sich bei: G. Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität. Braunschweig 1885, Bd. IV. 1. Abt., S. 505 ff. (Elektroskopische Ladungen auf der Oberfläche und im Innern der Entladungsröhren.)

kontinuitäten ohne rotierenden Spiegel keine Diskontinuität nachzuweisen ist.

d) Einfluſs einer Kapazität auf die Entladung.

Um zu einem Verständnis der im vorhergehenden als lokale Diskontinuitäten bezeichneten Erscheinungen zu gelangen, wollen wir im folgenden auf den Einfluß eingehen, den ein Kondensator auf eine Entladungsstrecke ausübt, wenn er dieser parallel geschaltet wird. Unter diese Betrachtung wird auch die Bestimmung der Empfindlichkeit einer Entladung gegen genäherte Leiter (Finger) fallen, denn die dabei auftretenden Phänomene sind nichts anderes als Kondensatorwirkungen, bei denen das leitende Gas und der genäherte Leiter die Belege eines Kondensators sind, die Glaswand des Gefäßes und die atmosphärische Luft aber die Rolle des Dielektrikums spielen.

1. Einfluß einer parallel geschalteten Kapazität auf die kontinuierliche Entladung.

W. Hittorf[1]) hat beobachtet, daß bei Verbindung der Elektroden eines Entladungsrohres mit den Belegen eines Kondensators Diskontinuitäten auftreten bei Stromstärken, bei denen ohne Kondensator der Stromdurchgang durch die Röhre vollkommen kontinuierlich war. Durch Steigerung der Stromstärke ließ sich wieder eine kontinuierliche Entladung erzielen, und dieselbe blieb kontinuierlich, wenn jetzt die Stromstärke wieder verkleinert wurde. Wurde in die Zuleitung des Kondensators ein großer Widerstand eingeschaltet, so blieb beim Anlegen des Kondensators die Entladung kontinuierlich und behielt diesen kontinuierlichen Charakter auch bei, wenn der Widerstand allmählich ausgeschaltet wurde. Nur in der Nähe der Grenzstromstärke (d. i. die Stromstärke, unterhalb deren eine kontinuierliche Entladung nicht möglich ist) durfte der Widerstand unter eine bestimmte Größe nicht erniedrigt werden, wenn die Entladung kontinuierlich bleiben sollte.

Versuche von O. Lehmann[2]) haben ergeben, daß eine kontinuierliche Entladung auch bei großen Stromstärken in eine diskontinuierliche übergeht, wenn die Kapazität des parallel ge-

---

[1]) W. Hittorf, Wied. Ann. Bd. 20, S. 723 ff. 1883.
[2]) O. Lehmann, Wied. Ann. Bd. 56, S. 333. 1895.

schalteten Kondensators nur groß genug ist. O. Lehmann verwendet zu seinen Versuchen ein elektrisches Ei mit starken Kupferelektroden. Die Glimmentladung blieb überhaupt aus, wenn die parallel geschaltete Kapazität 2 Mikrofarad betrug, und es trat dann statt derselben eine mehr oder weniger rasche Aufeinanderfolge blendend heller, roter Funken auf, die bei Steigerung der Stromstärke in eine scheinbar konstante Lichtbogenentladung von gleichem Aussehen überging.

Wird die Kapazität nicht an die Elektroden angelegt, sondern einer Strecke der Entladung parallel geschaltet, so treten dieselben Erscheinungen auf. Bei einer Röhre von der Form Fig. 4 *b* (S. 40), deren weite Röhrenteile einen Durchmesser von 3 cm und eine Länge von 24 cm hatten, während die enge Röhre einen Durchmesser von 0,4 cm und eine Länge von 12 cm hatten, wurden Sonden vor *a* und nach *k* eingeführt (Figur 3), die nach Art der Kathode durch einen Hilfsstrom[1]) zum Glühen gebracht werden konnten. Bei einem Druck von $p = 0{,}07$ mm Hg und einer Stromstärke von $i = 6{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. blieb die Entladung kontinuierlich, wenn eine große Kapazität an die kalten Sonden angelegt wurde, und sie blieb auch noch kontinuierlich, wenn die Sonde bei *a* geglüht wurde. Wurde dagegen die Sonde bei *k* geglüht, so traten mitunter einige diskontinuierliche Entladungen auf. Wurden beide Sonden gleichzeitig geglüht, so traten starke Diskontinuitäten auf.

Wir sehen daraus, daß die Erscheinungen in diesem Falle vollkommen analog sind mit den oben mitgeteilten Beobachtungen von W. Hittorf und O. Lehmann. Der Kathodenfall an den Sonden spielt die Rolle eines großen Widerstandes. Werden die kalten Sonden mit der Kapazität verbunden, so geht ein Zweigstrom vom Gas nach der Kapazität und lädt diese allmählich auf, entsprechend dem kleinen Kathoden- und Anodenfall für kleine Zweigströme, wie sie sich aus den Versuchen von C. A. Mebius[2]) ergeben haben. Sind dagegen die Sonden glühend, so wird der Kathodenfall auch für große Stromintensitäten Null, der Kondensator lädt sich rasch und entzieht dem Entladungsrohre plötzlich große Elektrizitätsmengen; da-

[1]) Über die Verwendung glühender Sonden s. S. 57.
[2]) C. A. Mebius, Wied. Ann. Bd. 59, S. 695. 1896.

durch wird der Strom in der Röhre unterbrochen, und es treten Diskontinuitäten auf. Beim Glühen der Sonde bei *a* allein tritt keine Diskontinuität auf. Der Grund dafür dürfte darin zu suchen sein, daß die Sonde vor *a* im ersten Stadium einer Diskontinuität als Einströmungspunkt negativer Elektrizität, also als Anode wirkt und der Anodenfall durch das Glühen nach den Versuchen von A. Wehnelt[1]) nicht wesentlich geändert wird. Anders liegt die Sache beim Glühen der Sonde bei *k*. Hier wirkt die Sonde in dem ersten Moment der Diskontinuität als Kathode, und daher treten einzelne Diskontinuitäten auf, die natürlich größer werden, wenn auch durch Glühen der Sonde bei *a* der Kathodenfall klein wird, denn im zweiten Stadium der Diskontinuität wird die Sonde bei *a* als Kathode und die bei *k* als Anode wirken.

Die Versuche zeigen, daß jede an sich kontinuierliche Entladung durch parallel geschaltete Kapazitäten in diskontinuierliche Entladungen übergeführt werden kann, und dabei wird die Entladung gegen parallel geschaltete Kapazitäten um so empfindlicher sein, je mehr die Stromstärke der Grenzstromstärke der Kontinuität sich nähert.

2. Einfluß einer parallel geschalteten Kapazität auf diskontinuierliche Entladungen.

Zu den folgenden Versuchen diente wieder eine Röhre von der Form Figur 4 b. Der Durchmesser der Kapillare betrug hier 0,1 cm. Durch die Röhre wird der Strom einer 20 plattigen Influenzmaschine geschickt und durch Regulieren des Glühzustandes der Kathode wird leicht erreicht, daß eine rasche Aufeinanderfolge von einzelnen Entladungen stattfindet. Jede Einzelentladung entspricht im allgemeinen einer aperiodischen Kondensatorentladung. Eine mathematische Behandlung ist schwierig vor allem wegen der vollkommenen Unkenntnis der in Rechnung zu setzenden Größen[2]). Wir werden den ganzen

[1]) A. Wehnelt, a. a. O. S. 452.

[2]) Für die Entladung einer Leydner Flasche kommen drei Größen in Betracht: Kapazität, Widerstand und Selbstinduktion. Kapazitätsbestimmungen liegen für Entladungsröhren wohl einige vor (s. auch S. 35), dagegen ist es schwer, über die dem Ohmschen Widerstand bei flüssigen und festen Körpern entsprechende Beziehung zwischen Stromstärke und Spannung bei Gasen etwas zu sagen. (Vgl. W. Kaufmann, Physikal.

Vorgang als einen periodischen ansehen können, insofern aperiodische Zustände nach einer gewissen Zeit immer wiederkehren.

Wollten wir jedoch die Verhältnisse bei Parallelschaltung einer Kapazität mit einer Strecke der Entladung vergleichen mit den Verhältnissen bei der Parallelschaltung einer Kapazität mit einem Leiter mit Selbstinduktion, der von einem periodischen Strome durchsetzt wird, so stoßen wir auf wesentliche Unterschiede zwischen den Erscheinungen, ganz abgesehen davon, daß ein Vergleich eines metallischen Leiters mit einem leitenden Gas, bei dem ein großer Teil der Stromenergie lediglich dazu dient, das Gas in den leitenden Zustand zu versetzen, immer bedenklich erscheinen muß, selbst wenn man sich des wesentlichen Unterschiedes stets bewußt bleibt.

Bei einem Wechselstrom haben wir es mit einer erzwungenen Schwingung zu tun. Die Zahl der Wechsel wird daher nicht geändert durch einen parallel geschalteten Kondensator, es findet lediglich eine Phasenverschiebung zwischen den beiden Stromzweigen statt. Nehmen wir dagegen den Fall unseres Entladungsrohres, das von aufeinanderfolgenden aperiodischen Stromstößen durchsetzt wird, so ändert sich die Zahl der Entladungen. Ist die angehängte Kapazität nicht zu klein, so ist die Zahl der Entladungen in den engen und weiten Röhrenteilen nicht mehr dieselbe. Die bei der ersten Entladung im weiten Rohr übergehende Elektrizitätsmenge reicht nicht mehr aus, die Kapillare und die parallel geschaltete Kapazität auf ein so hohes Potential zu laden, daß das Entladungspotential für die erstere erzielt wird. Erst wenn mehrere Entladungen übergegangen sind, ist dies erreicht, und nun setzt die Entladung auch in der Kapillare ein. Der Grund dafür liegt darin, daß die Periode, in der die Einzelentladungen unseres Rohres erfolgen, nicht wie bei dem Wechselstrom eine erzwungene ist, sondern daß wir es mit einer raschen Aufeinanderfolge von Eigenschwingungen eines Kondensators zu tun haben, die allerdings aperiodisch verlaufen.

Zeitschr. Bd. 1, S. 348. 1900.) Der Versuch, die Selbstinduktion in einem Entladungsrohre zu bestimmen, wurde meines Wissens noch gar nicht gemacht. Zudem ist zu berücksichtigen, daß die die elektrischen Vorgänge im Entladungsrohre bestimmenden Größen keine Konstanten, sondern variable Größen sind.

Gerade in dem letzten Umstand liegt aber eine weitere Schwierigkeit für den Vergleich der beiden Vorgänge. Während bei einer Schwingung ein Ausgleich der Ladung des Kondensators im Nebenschluß durch den Hauptstromkreis leicht möglich ist, wird bei den Entladungsvorgängen in unserem Rohre, solange diese rein aperiodisch erfolgen, ein Ausgleich nur nach der einen Richtung stattfinden können; es wird daher trotz Steigerung der Kapazität im Nebenschluß doch die Entladung stets durch die Kapillare gehen. Sorgen wir aber dafür, daß die Entladung nach beiden Richtungen des Stromkreises erfolgen kann, so wird die Wirkung der zu den Sonden parallel geschalteten Kapazität dieselbe sein wie bei einem Leiter mit Selbstinduktion. Wir können dies erreichen, indem wir den Widerstand der Influenzmaschine ausschalten. Nähern wir die Pole der Influenzmaschine, so daß ohne parallel geschaltete Kapazität die Entladung durch die Röhre geht und zwischen den Polen der Maschine gerade kein Funke übergeht, so geht durch die Kapillare sofort kein Strom mehr, wenn eine große Kapazität an die Sonden angelegt wird. Der Strom entlädt sich durch die Kapazität und die Funkenstrecke. Der Eintritt der Erscheinung wird begünstigt durch Glühen der Sonden.

Der Einfluß glühender Sonden tritt besonders deutlich bei kleinen Kapazitäten hervor. Ist mit den Sonden keine Kapazität verbunden außer den Akkumulatoren und dem Vorschaltwiderstand des Heizstromes, so erfolgen die Entladungen in den weiten und engen Röhrenteilen synchron. Um die Sonden sieht man einen dunklen Raum, wie dies in den meisten Fällen bei diskontinuierlichen Entladungen der Fall ist. Bringt man dagegen die Sonden zum Glühen, so tritt sofort eine Änderung der Zahl der Entladungen ein. In vielen Fällen ändert sich zwar die Zahl der Entladungen aber für die weiten und engen Röhrenteile in derselben Weise. Häufig jedoch ändert sich die Zahl der Entladungen in den weiten Röhrenteilen nur wenig, während die Zahl der Entladungen, in der engen Röhre wesentlich kleiner wird. Die Erscheinungen erklären sich daraus, daß der Kathodenfall an den Sonden, der für das Ein- oder Ausströmen einer größeren Elektrizitätsmenge nötig ist, bei den Potentialschwankungen an den Stellen der Sonden nicht erreicht wird, solange die Sonden kalt sind, und dadurch wirkt der

Kathodenfall wieder wie ein großer Widerstand. Wird der Kathodenfall durch Glühen zum Verschwinden gebracht, so wird dem Stromkreis im Rohre momentan eine große Elektrizitätsmenge entzogen, und dadurch erklärt sich der große Einfluß einer kleinen parallel geschalteten Kapazität auf die Zahl der Entladungen.

3. Einfluß der Kapazität der Entladungsröhre.

Wir haben in dem vorhergehenden Abschnitt gesehen, daß die Zahl der Entladungen in verschiedenen Röhrenteilen eine verschiedene sein kann, wenn die Kapazität eines Teiles der Entladung durch parallel geschaltete Kapazitäten erhöht wird. Die Zahl der Entladungen in einer Sekunde wird außer von den anderen die Vorgänge im Entladungsrohr bestimmenden Größen der Röhre und des Schließungskreises auch von der Kapazität der Röhre abhängen. Es liegt nahe, die auf S. 26 beobachteten Fälle einer verschiedenen Zahl der Entladungen in einzelnen Röhrenteilen auf die Kapazitätsverhältnisse der Röhren zurückzuführen. Für die Entladung in den einzelnen Röhrenteilen kommt dann nicht mehr die Kapazität der ganzen Röhre, sondern die Kapazität einzelner Röhrenteile in Betracht.

Solange der Kathodenfall sehr groß ist, wird die Elektrizitätsmenge, die beim Einsetzen einer Entladung in dem Röhrenteil *Ka* übergeht, groß sein, es wird daher die Elektrizitäts-

---

[1]) Die Kapazität einer Entladungsröhre ist nicht konstant, sondern von mannigfachen Umständen abhängig. Dies zeigen Versuche von J. Borgmann (Physikal. Zeitschr. Bd. 2, S. 651. 1901) u. a. Ferner haben Versuche von S. N. Taylor im Erlanger Institut gezeigt, daß die Kapazität einer Röhre verschieden ist, je nachdem die Anode oder Kathode geerdet ist. (The Physical Review Bd. 18, S. 321. 1904.) Die Kapazität dürfte auch von den Erscheinungen an der Kathode abhängen. E. Wiedemann und G. C. Schmidt (Wied. Ann. Bd. 62, S. 460. 1897) haben gezeigt, daß der dunkle Raum sich gegen elektrische Schwingungen wie ein Dielektrikum verhält, und dadurch ist die Möglichkeit von Kondensatorwirkungen bei diskontinuierlichen Entladungen gegeben. Ich gehe auf diese Verhältnisse hier nicht näher ein, da über diesen Gegenstand noch weitere Beobachtungen angestellt werden sollen. Ich möchte hier nur erwähnen, daß die Kapazität einer Röhre durch Einführung von Sonden geändert wird. Es zeigte sich, daß im allgemeinen bei Röhren ohne Sonden schon bei kleineren Stromstärken eine kontinuierliche Entladung zu erzielen war.

menge hinreichen, um *ak* zum Entladungspotential aufzuladen, und dasselbe gilt natürlich dann erst recht für *kA*. Tritt keine kontinuierliche Entladung auf, so ist in den meisten Fällen die Periode der Diskontinuität bestimmt durch den Röhrenteil, in dem die Kathode sich befindet. In diesem Röhrenteile haben wir eine freie Kondensatorentladung, in den übrigen Röhrenteilen eine erzwungene. Ist dagegen der Kathodenfall in unserer Röhre klein, so kann leicht der Fall eintreten, daß die bei einer Entladung übergehende Elektrizitätsmenge nicht hinreicht, um eine Entladung durch die enge Röhre zu senden; es wird das Entladungspotential für diese Röhre vielmehr erst erreicht, nachdem mehrere Entladungen in den weiten Röhrenteilen übergegangen sind. Dies tritt ein bei Fall 2 der lokalen Diskontinuitäten. Es wurde diese Erscheinung hauptsächlich bei Röhren beobachtet, deren weite Röhrenteile eine größere Länge hatten. Häufig war für diese Röhren eine Diskontinuität in den Erweiterungen mit Hilfe des Telephones noch nachzuweisen, während im rotierenden Spiegel eine Trennung in Einzelentladungen in den Erweiterungen nicht mehr möglich war. War dagegen in den Röhren mit kürzeren weiten Röhrenteilen die Zahl der Entladungen in einer Sekunde in der Kapillare ungefähr dieselbe, so war die Trennung der Einzelentladungen im rotierenden Spiegel auch in den weiten Röhren sehr deutlich zu beobachten. Infolge der kleinen Kapazität der Erweiterungen wird hier die Periode der Diskontinuität durch die Periode der Diskontinuität in der Kapillare erzwungen. Wir haben hier den umgekehrten Fall wie bei einem sehr großen Kathodenfall. Der Fall 1 lokal nachweisbarer Diskontinuität war bei diesen Röhren meist bei einem Kathodenfall zu beobachten, dessen Wert nur etwas höher war als der normale Kathodenfall. Die Erscheinung, daß die Diskontinuität in *Ka* in einzelnen Fällen nicht die gleiche Periode der Diskontinuität in *ak* zu erzwingen vermag, rührt außer von den Kapazitätsverhältnissen (teilweise mitbedingt durch Anwesenheit der Sonden)[1]) auch von den anderen die Vorgänge im Entladungsrohr bestimmenden Größen[2]) des Rohres her. Die

[1]) Fall 2 tritt auch ohne Anwesenheit von Sonden auf, während Fall 1 nur bei Anwesenheit von Sonden zur Beobachtung gelangte.

[2]) s. S. 32 Anm. 2.

letzteren dürften speziell auch für *kA* eine größere Rolle spielen, da hier die kinetische Energie, welche die Elektrizität längs *ak* erhält, das Entladungspotential für diesen Röhrenteil stark herabsetzen wird, und daraus erklärt sich, daß in diesem Stromteil die Entladung eventuell keine nachweisbare Diskontinuität zeigt.

Die Fälle 3 und 4 auf S. 26 zeigen, daß Diskontinuitäten an der Anode von geringem Einfluß auf die Entladung[1]) sind. Dies steht im Einklang mit den Beobachtungen einer größeren Reihe von Forschern, daß die Reinheit der Anode keinen Einfluß auf die Kontinuität der Entladung hat. Während die ersten Fälle nur bei der scheinbar kontinuierlichen Entladungsform beobachtet wurden, treten die letzten beiden Fälle auch bei Entladungen auf, in denen die Entladung in den übrigen Röhrenteilen sicher kontinuierlich ist.

Eine eigentümliche Erscheinung, die jedenfalls auch durch die Kapazitätsverhältnisse der Röhre mitbedingt ist, und auf die im vorhergehenden schon des öfteren hingewiesen wurde, ist die verschiedene Empfindlichkeit der Entladung in verschiedenen Röhrenteilen. Die stärkere Empfindlichkeit in der Nähe der Kathode[2]) und das Auftreten größerer Dunkelräume in diesem Teil der Entladung gegenüber den Teilen des Entladungsrohres bei der Anode tritt, wie spätere Versuche zeigen werden, unabhängig davon auf, ob der Potentialabfall an der einen oder anderen Stelle größer ist.

Versuche von O. Lehmann[3]) haben bei Verwendung von Teslaschwingungen ergeben, daß die Dicke des dunklen Raums mit zunehmender Zahl der Schwingungen in der Sekunde stark abnimmt, und daß bei sehr hohen Schwingungszahlen der dunkle Raum überhaupt kaum mehr sichtbar ist. Nachdem die vorhergehenden Versuche gezeigt haben, daß die

[1]) Vgl. Anm. auf S. 35 über den dunklen Raum, der hier in Wegfall kommt.

[2]) Vgl. hierzu J. Stark, Ann. d. Phys. Bd. 1, S. 430. 1900. „Durch einen an die Entladeröhre gelegten Leiter wird die Entladung an der Kathode gehemmt, nicht an der Anode; eine unstetige Entladung wird stärker geschwächt, wenn die Entladeröhre in der Nähe der Kathode, als wenn sie in der Nähe Anode ableitend berührt wird."

[3]) O. Lehmann, Verhandl. d. naturwissensch. Ver. zu Karlsruhe Bd. 15, S. 69. 1902.

Zahl der Entladungen in verschiedenen Röhrenteilen verschieden sein kann, könnte man die verschiedene Empfindlichkeit auf eine Verschiedenheit der Zahl der Entladungen zurückführen. Es müßte dann die Zahl der Entladungen in der Nähe der Anode größer sein, da hier die Dunkelräume kleiner sind. Die äußere Erscheinungsform ändert sich jedoch nur wenig, wenn die scheinbar kontinuierliche Entladung sich in eine Reihe von Einzelentladungen auflöst, die mit dem rotierenden Spiegel und dem Telephon als solche leicht nachzuweisen sind, und deren Zahl für alle Röhrenteile dieselbe ist. Diese Erklärung für die verschiedene Empfindlichkeit erscheint daher nicht wahrscheinlich.

Versuche von C. A. Mebius[1]) über den Kathodenfall von Zweigströmen in einem Entladungsrohre zeigen, daß der Kathodenfall für sehr kleine Stromstärken klein ist, mit wachsender Stromstärke erst rasch und dann langsamer steigt und sich dann wohl einem Grenzwert, dem normalen Kathodenfall, nähert. Es wäre nun denkbar, daß Hand in Hand mit dieser Erscheinung die Ausbildung des dunklen Raumes geht, der auch allmählich zu einem Maximum wächst, das bei dem normalen Kathodenfall erreicht ist. Es würde somit das Auftreten des größeren Dunkelraumes in der Nähe der Kathode darauf hinweisen, daß hier dem Entladungsrohre durch die Sonde eine größere Elektrizitätsmenge entzogen wird, und für diese Anschauungsweise spricht auch, daß hier die Auflösung in einzelne diskontinuierliche Entladungen, also eine größere Stromunterbrechung durch angelegte Kapazitäten leicht bewirkt wird, während dies in der Nähe der Anode nicht der Fall ist[2]).

Gegen die Annahme, die oben gemacht wurde, sprechen aller-

---

[1]) C. A. Mebius, a. a. O.

[2]) Die Elektrizitätsmenge, die durch eine Sonde dem Entladungsrohr in der Nähe der Kathode entzogen wird, muß größer sein als für eine Sonde in der Nähe der Anode, wenn man annimmt, daß der Stromstoß bei der diskontinuierlichen Entladung von der Kathode ausgeht. Die starke Empfindlichkeit speziell bei Röhren mit Verengerungen im Querschnitt erklärt sich dann zum Teil als Stauwirkung in der Nähe der Striktionsanode. Das Ausgehen des Stromstoßes von der Kathode erscheint in unserem Falle nicht unwahrscheinlich, da durch die glühende Kathode eine starke Jonisierung in den benachbarten Gasschichten bewirkt wird.

dings Versuche von O. Lehmann[1]), der fand, daß bei kleinen Stromstärken der Dunkelraum sehr stark wächst, namentlich bei tiefen Drucken. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß es sich bei den Zweigströmen um wesentlich schwächere Ströme handelt[2]).

Eine definitive Erklärung dieser variabeln Empfindlichkeit in einer Entladungsröhre wird sich erst geben lassen, wenn wir über die Vorgänge bei diskontinuierlichen Entladungen und über die Kapazitätsverhältnisse von Entladungsröhren besser orientiert sind.

2. Potentialmessungen bei der unempfindlichen Entladungsform.

a) Versuchsanordnung.

Bei den folgenden Versuchen wurde auf die Verwendung reiner Gase verzichtet. Da die meisten Messungen bei Drucken unter 0,1 mm Hg angestellt wurden, so ist es in den meisten Fällen doch nicht möglich, den Gasinhalt absolut rein zu erhalten, zumal da glühende Elektroden verwendet wurden, die stets absorbierte Gasmengen abgeben[3]). Selbst kleine, von den Wänden des Entladungsgefäßes adsorbierte Gasmengen, die beim Durchgang von Entladungen stets abgegeben werden, können bei den tiefen Drucken eine starke Verunreinigung des Gases hervorrufen. Es wurde daher trockne Luft zu den Beobachtungen verwandt. In einigen Fällen weist die Färbung der Schichten[4]) auf das Vorhandensein von Wasserstoff in der Röhre hin. Der Grund dafür dürfte wohl darin liegen, daß eine Zersetzung von Siegellackdämpfen an der glühenden Elektrode oder unter dem Einfluß der elektrischen Entladungen stattfindet.

---

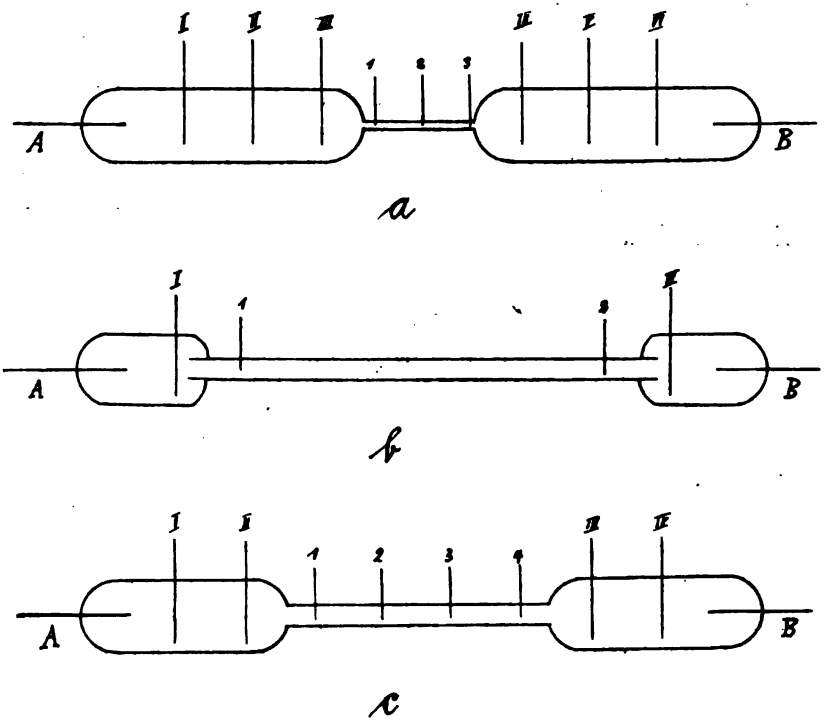
[1]) O. Lehmann, Verhandl. d. naturwissensch. Vereins zu Karlsruhe Bd. 15, S. 44. 1902.

[2]) Für sehr schwache Ströme findet z. B. auch eine Änderung der Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke statt. (H. A. Wilson, Phil. Mag. (6.) Bd. 6, S. 180. 1903.)

[3]) So gibt W. Hittorf (Wied. Ann. Bd. 20, S. 741. 1883) an: „Es ist mir nie gelungen, durch noch so langes Glühen im Vakuum ein Metall vollkommen von seinen okkludierten Gasen zu befreien."

[4]) s. S. 22 Anm.

Die Form der Entladungsröhren, die zu den Potentialmessungen bei tiefen Drucken dienten, gibt Figur 4.



Figur 4.

Über die Dimensionen der einzelnen Röhren finden sich die Angaben bei den jeweiligen Messungsreihen. Von den beiden Elektroden *A* und *B* war die Kathode stets ein glühender dünner Platindraht, der mit einem wirksamen Oxyde (CaO) überzogen war, während als Anode teils eine Elektrode derselben Form, teils ein einfacher Aluminium- oder Messingdraht diente. Die Zuleitung des Heizstromes wurde durch starke Messingdrähte vermittelt, an die der dünne Platindraht mit Silber angelötet war. Die Messingdrähte waren in ihrer ganzen Länge von isolierenden Glasröhren umgeben und in den meisten Fällen mit Siegellack eingekittet, in einzelnen Fällen auch mittels dicker Platindrähte an den Enden direkt eingeschmolzen.

Der Heizstrom wurde von zwei hintereinander geschalteten

Akkumulatoren geliefert, die ebenso wie der Regulierwiderstand des Heizstromes wohl isoliert auf Paraffinklötzen aufgestellt waren.

Die Sonden bestanden aus dünnen Platindrähten, die in den engen Röhrenteilen (in Figur 4 bezeichnet mit 1, 2, 3, 4) stets eingeschmolzen waren, wobei darauf gesehen wurde, daß eine Deformation des Querschnitts an den einzelnen Stellen möglichst vermieden wurde. Die Sonden in den weiten Röhrenteilen (in der Figur 4 mit I, II u. s. w. bezeichnet) waren teils eingeschmolzen, teils durch seitliche Ansatzröhren eingeführt. Die Sonden waren dabei in enge Glasröhren eingeschmolzen, die die ganze Strecke außerhalb des weiten Entladungsrohres bedeckten, und diese Glasröhren wurden dann in die seitlichen Ansatzröhren mit Siegellack eingekittet.

Die Schaltung war die in Figur 3 (S. 22) angegebene. Es wurden Potentialmessungen nur dann angestellt, wenn beide Telephone schwiegen.

Zur Messung der Potentialdifferenzen zwischen den Sonden diente ein Warburgsches Quadrantenelektrometer in der Form, wie es E. Wiedemann und G. C. Schmidt[1]) angegeben haben. Die Eichung erfolgte mit einigen Kästen der Hochspannungsbatterie, deren Spannung mit einem Normalinstrument von Siemens und Halske ermittelt wurde.

b) Ist an der Striktionskathode ein Potentialsprung vorhanden?

Es wurde schon früher erwähnt[2]), daß E. Wiedemann und G. C. Schmidt auf die Möglichkeit eines Potentialsprunges an der Verengerung der Strombahn für die Stromrichtung der positiven Elektrizität hingewiesen haben. Es mußte daher als nächste Aufgabe erscheinen zu untersuchen, ob für kontinuierliche Entladungen bei der unempfindlichen Entladungsform an der bezeichneten Stelle ein solcher Sprung tatsächlich vorhanden ist. Die Lösung der Frage stieß auf gewisse Schwierigkeiten, deren Hauptgrund darin liegt, daß bei den tiefen Drucken sich Störungen in der Entladungsbahn durch

---

[1]) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. Bd. 66, S. 314. 1898.

[2]) s. S. 19.

die Sonden bemerkbar machten, und daß die auftretenden Strahlen eine äußerst geringe Starrheit besitzen, und daher schon ein Potentialsprung von wenigen Volt ihre Entstehung vollständig zu erklären imstande wäre.

Ich teile im folgenden zunächst einige Versuche mit, die mit einer Röhre von der Form Fig. 4a ausgeführt wurden. Der enge Teil der Röhre hatte eine Länge von 7,2 cm und einen Durchmesser von 0,3 cm. Die weiten Röhren hatten eine Länge von 20 cm und einen Durchmesser von 3,0 cm.

Tabelle 7.

p	i	Kathode	Pot. Diff. III 1	Pot. Diff. 3 IV
1,2	1,0	A	121	91,5
		B	101	107,5
0,25	2,5	A	44,7	30,4
		B	29,6	40,0
0,08	2,5	A	31,1	31,8
		B	32,6	27,9
0,058	2,5	A	29,0	34,7
		B	43,8	24,7
0,04	5,0	A	25,5	37,5
		B	47,8	22,3

In Tab. 7 sind für verschiedene Drucke p in mm Hg und für die Stromstärken i in Milliampère die Potentialdifferenzen zwischen den Sonden (III 1) und (3 IV) gegeben. Ein mittlerer Gradient zwischen (III 1) und (3 IV) ist nicht angegeben, da es keinen Sinn hat, aus der Potentialdifferenz zwischen den Sonden den Gradienten zu bestimmen, da von den Sonden die eine im weiten, die andere im engen Entladungsrohr liegt. Die Dimensionsverhältnisse waren bei den Strecken (III 1) und (3 IV) im Entladungsrohr nicht vollkommen dieselben, da die enge Röhre in die weiten nicht eingekittet war, sondern die Röhren aneinandergeschmolzen waren aus Gründen, die spätere Versuche zeigen werden[1]). Um diese Unsymmetrie an den Stellen der Verengerung des Querschnittes aus der Versuchsreihe zu eliminieren, diente bei jeder Beobachtung abwechselnd die Elektrode A resp. B zur Kathode. Es ist daher für jede Stelle einer Quer-

[1]) S. S. 71ff.

schnittsänderung ein Vergleich des Spannungsabfalles möglich, wenn dieselbe Stelle bei denselben Druck- und Stromstärkeverhältnissen einmal Striktionsanode und dann Striktionskathode ist.

Vergleicht man in der Tabelle 7 die Werte der Potentialdifferenzen für die Stellen der Querschnittsänderung, so zeigt es sich, daß bei den hohen Drucken der Potentialabfall an der Striktionsanode größer ist als an der Striktionskathode, daß aber bei den tiefen Drucken die Verhältnisse sich umkehren.

Die Ergebnisse der Potentialmessungen *scheinen* zunächst tatsächlich für einen Potentialsprung an der Striktionskathode bei tiefen Drucken zu sprechen und zwar für einen sehr beträchtlichen, wenn wir die Spannungsunterschiede zwischen (III 1) bei 0,04 mm Hg und $i = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ Ampère betrachten. Es beträgt hier der Spannungsunterschied für die Striktionskathode 22,3 Volt mehr als für die Striktionsanode. Auffallend muß es dabei allerdings von vornherein erscheinen, daß bei den hohen Drucken die Potentialverteilung gerade die entgegengesetzte sein soll.

Die Resultate der Messungen gewinnen jedoch sofort eine ganz andere Bedeutung, wenn wir die Lichterscheinungen in der Röhre betrachten.

In den weiten Röhrenteilen war die positive Säule bis auf das Striktionsglimmlicht, soweit ein solches zu beobachten war, stets rot gefärbt und mit Ausnahme der ersten Beobachtung bei $p = 1{,}2$ mm Hg stets geschichtet. Im engen Rohre war bei dem höchsten Druck die Entladung geschichtet, auch bei $p =$ 0,25 mm Hg war eine schwache Andeutung von Schichten noch zu beobachten, dagegen war bei den übrigen Drucken die Schichtung vollkommen verschwunden, und das Licht zeigte mit abnehmendem Druck eine immer deutlicher hervortretende Blaufärbung. Die positive Säule in der Kapillare war bei den Beobachtungen nicht längs ihrer ganzen Ausdehnung gleich gefärbt, es zeigte sich vielmehr, daß bei den tiefen Drucken nach der Sonde vor der Striktionskathode stets ein sehr viel intensiveres Blau zu sehen war; speziell bei $p = 0{,}04$ mm Hg und $i = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ Ampère war das Blau so intensiv wie bei den Kathodenstrahlen, die von der glühenden CaO-Platinelektrode ausgehen. Diese intensivere Blaufärbung war jedoch nur längs einer kleinen Strecke zu beobachten, deren Länge mit abnehmendem Druck zunahm.

Da bei einer Kapillare, wie schon E. Goldstein[1]) beobachtet hat, das Licht ohne Vorhandensein von Sonden stets längs ihrer ganzen Ausdehnung gleich gefärbt erscheint, so muß die Intensitätssteigerung unmittelbar hinter der Sonde von der Einführung der Sonde herrühren. Will man den Potentialunterschied zwischen Striktionsanode und Striktionskathode in den obigen Messungen auf eine Sondenstörung zurückführen, so muß nachgewiesen werden können, daß die Störung durch eine Sonde bis zu 22,3 Volt (d. i. das Maximum des Unterschiedes in der Potentialdifferenz für (III 1) als Striktionskathode und Striktionsanode) betragen kann. In der Tat traten bei einer Röhre von der Form Figur 4*c* ähnliche Störungen durch Sonden auf. Die Länge der Kapillare war 12,6 cm und der Durchmesser 0,3 cm. Es war auch hier hinter einzelnen Sonden intensiv blaues Licht zu beobachten, das wiederum nur eine kurze Strecke einnahm, dann trat wieder die normale Blaufärbung auf.

Tabelle 8.

Kathode	Pot. Diff.		
	12	23	34
A	57,7	42,1	59,5
B	37,3	67,8	47,1

Tabelle 8 gibt für $i = 4{,}5 \cdot 10^{-3}$ Ampère und $p = 0{,}05$ mm Hg die Potentialdifferenzen zwischen den Sonden (12), (23) und (34), wobei die Abstände der Sonden resp. 4,0 cm, 3,9 cm und 3,8 cm betrugen. War die Elektrode *A* Kathode, so zeigte sich hinter 1 und 3 eine Stelle intensiverer Blaufärbung, während bei umgekehrter Stromrichtung vor 3 eine intensiv blaugefärbte Stelle beobachtet wurde, wenn man beide Male in der Richtung *A*1234*B* die Erscheinungen im Entladungsrohre beobachtet. Man sieht aus der Tabelle, daß die Differenzen der bei verschiedener Stromrichtung gemessenen Spannungsabfälle von der Größenordnung der oben beobachteten Abweichungen sind.

Nun ändert sich allerdings der Gradient längs der engen Röhre, wie die folgenden Beobachtungen zeigen werden. Die Änderung ist jedoch für die großen Stromstärken im allgemeinen sehr

[1]) E. Goldstein, Wied. Ann. Bd. 11, S. 848. 1880.

klein, wenn sie überhaupt noch vorhanden ist. Übrigens kommt diese Änderung des Gradienten nur für die Strecken (12) und (34) eventuell in Betracht, während für (23) infolge der symmetrischen Lage die Potentialdifferenz denselben Wert haben sollte, mag nun A oder B Kathode sein. Aber gerade hier ist der Spannungsunterschied bei verschiedener Stromrichtung am größten, nämlich gleich 25,7 Volt, mithin größer als der Unterschied für (III 1) für die erste Röhre bei verschiedener Stromrichtung.

Damit ist gezeigt, daß tatsächlich eine so große Störung durch Sonden auftreten kann. Der Grund dafür dürfte teils in einer Verengerung des Querschnittes durch die Sonde zu suchen sein, wohl zum größten Teil aber bedingt sein durch die Zerstäubung der Sonden bei den vorhergehenden diskontinuierlichen Entladungen in der Röhre, die sich nie vermeiden lassen. Die starke Ladung des durch die Zerstäubung entstandenen Metallspiegels bedingt eine Abstoßung der bewegten negativen Elektrizität und wirkt so wie eine weitere Verengung des Querschnitts. Damit erklärt sich dann aber auch ohne weiteres das verschiedene Verhalten der einzelnen Sonden.

Es wurde noch mit einer zweiten Röhre der Versuch gemacht, den Potentialabfall an der Stelle einer Querschnittsänderung bei verschiedener Stromrichtung zu bestimmen. Da jedoch wiederum Sondenstörungen, wenn auch in kleinerem Umfange, auftraten, so wurde auf die Potentialmessungen an der Striktionskathode in Röhren von 0,3 cm Durchmesser verzichtet und zu einer weiteren Röhre von der Form Figur 4b übergegangen.

Die enge Röhre hatte eine Länge $l = 70$ cm und einen Durchmesser $d = 0{,}7$ cm. Sie war an beiden Enden in die weiteren Röhrenteile von 20 cm Länge und 3 cm Durchmesser mit Siegellack eingekittet. Der Abstand der Sonden (I 1) und (2 II) war 10,2 cm, wobei 10 cm auf die enge und 0,2 cm auf die weite Röhre fielen.

Tabelle 9 gibt eine Beobachtungsreihe mit dieser Röhre. Man sieht, daß für höhere Drucke der Potentialabfall an der Striktionsanode etwas größer ist als an der Striktionskathode. Bei tiefen Drucken dagegen ist die Potentialdifferenz dieselbe.

Es ist somit bewiesen, daß bei einer Querschnittsänderung von ca. 1 : 18 an der Striktionskathode ein Potentialsprung sicher nicht vorhanden ist. Bei einer

Tabelle 9.

p	i	Kathode	Pot. Diff. I 1	2 II
0,25	2,5	A	186,0	176,1
		B	171,5	182,4
0,20	2,5	A	150,5	142,0
		B	140,5	147,6
0,04	6,0	A	64,2	64,2
		B	64,2	64,2
0,02	5,0	A	53,0	51,1
		B	50,6	50,0

Querschnittsänderung von 1 : 100 (die allerdings nicht plötzlich stattfindet) ist eine sichere Entscheidung mittelst Sondenmessung nicht geglückt. Die Potentialmessungen lassen es jedoch als wahrscheinlich erscheinen, daß auch in diesem Falle ein Potentialsprung nicht stattfindet.

Spätere Versuche über die magnetische Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen werden den direkten Beweis liefern.

c) Potentialverlauf im Innern der engen Röhre.

Im folgenden soll eine Reihe von Potentialmessungen im Inneren der engen Röhren gegeben werden. Es dienten Röhren vom Durchmesser 0,3 cm und vom Durchmesser 0,66—0,8 cm Durchmesser zur Beobachtung.

a) Röhren mit 0,3 cm Durchmesser.

Über die Dimensionen der verwandten Röhren (Figur 4*a* und 4*c*) ist das Folgende mitzuteilen. Die Erweiterungen hatten mit Ausnahme der ersten Röhre, deren Dimensionen auf S. 42 gegeben sind, eine Länge von 12 bis 14 cm und einen Durchmesser von ca. 3 cm. Der Durchmesser der engen Röhre war 0,27 bis 0,3 cm. Die Länge l der Röhre war:

I. Röhre $l =$ 7,2 cm (Figur 4*a*)
II. Röhre $l =$ 14,7 cm
III. Röhre $l =$ 5,9 cm (Figur 4*c*)
IV. Röhre $l =$ 12,6 cm

Die Versuche mit den Röhren geben Tab. 10—14.

Tabelle 10.

p	i	Kathode	Gradient I II	II III	12	23	IV V	V VI
1,2	1,0	A	33,4	35,0	62,1	58,2	30,0	32,5
		B	33,0	33,4	58,0	61,0	31,9	32,9
0,25	2,5	A	8,4	8,7	22,1	23,2	8,1	8,8
		B	8,7	8,7	22,8	22,7	8,7	8,7
0,08	2,5	A	4,8	4,6	16,9	16,3	3,7	5,0
		B	4,6	4,1	16,9	17,0	4,7	5,0
0,058	2,5	A	4,0	4,1	17,0	15,4	3,0	4,1
		B	4,0	3,0	16,0	16,0	4,1	4,0
0,04	5,0	A	3,3	3,3	14,0	12,4	1,9	3,2
		B	3,3	2,0	13,2	13,2	3,3	3,3

Tabelle 11.

$i = 1{,}0 \cdot 10^{-8}$ Amp.

p	Gradient 12	23	34	III IV
1,70	86,5	85,4	85,1	43,2
1,28	67,5	64,8	63,8	31,9
0,55	43,2	44,7	39,2	19,2
0,46	33,4	32,0	31,4	12,7

Tabelle 12.

$p = 0{,}08$ mm Hg

i	Gradient 12	23	34
1,50	24,1	20,4	20,3
2,05	21,1	18,6	18,4
3,00	17,4	16,1	15,9
4,00	15,2	14,6	14,5
7,00	12,6	12,7	12,6

Tabelle 13.

p	i	Gradient 12	23	34	III IV
0,52	0,5	46,8	44,5	42,6	19,0
0,08	2,5	19,0	18,2	16,9	—

Tabelle 14.

$p = 0{,}05$ mm Hg

i	2,5	3,0	5,0	7,5
X	13,5	11,5	9,6	9,1

Betrachtet man zunächst die Versuche mit Röhre I (Tabelle 10), so ist für verschiedene Drucke der Gradient im engen und weiten Rohre bestimmt, um einen Vergleich der Gradienten in beiden Fällen zu haben. Die Lichterscheinungen für die einzelnen Beobachtungsreihen sind schon auf S. 43 bei der Messung des Potentialunterschiedes (III 1) und (3 IV) beschrieben. Es ergibt sich aus der Tabelle:

Der Gradient ist im engen Rohre stets größer als im weiten. Das Verhältnis der Gradienten bleibt jedoch bei Druckänderungen nicht dasselbe. Die Gradienten im weiten und

engen Rohr verhalten sich vielmehr bei hohen Drucken ungefähr wie 1 : 2, bei tiefen Drucken dagegen wie 1 : 4.

Der Gradient im engen Entladungsrohr nimmt entweder von der Striktionsanode zur Striktionskathode etwas ab, oder er ist längs der Ausdehnung der Röhre konstant.

Im Striktionsglimmlicht ist der Gradient in der weiten Röhre kleiner als in den übrigen Teilen des weiten Entladungsrohres. Die Erscheinung würde in der Tabelle 10 noch deutlicher hervortreten, wenn nicht nur die Sonde IV, sondern auch die Sonde V im Glimmlicht wäre.

Einige Versuche mit Röhre II geben Tabelle 11 und 12, und zwar gibt Tabelle 11 für $i = 1{,}0 \cdot 10^{-3}$ Ampère die Gradienten für verschiedene Drucke und Tabelle 12 für $p = 0{,}08$ mm Hg die Gradienten für verschiedene Stromstärken. Für $i = 1{,}0 \cdot 10^{-3}$ Ampère war bei $p = 0{,}08$ mm Hg die Entladung in die empfindliche Entladungsform übergegangen. Die gefundenen Werte stimmen mit den Werten von Tabelle 10 überein, soweit dies bei den verschiedenen Versuchsbedingungen (vor allem Reinheit des Gases) möglich ist. Man sieht, daß die Abnahme des Gradienten von der Striktionsanode zur Striktionskathode speziell bei kleinen Stromstärken eintritt, während bei großen Stromstärken der Gradient längs des Rohres konstant bleibt.

Tabelle 13 bezieht sich auf Röhre III. Die Werte des Gradienten stimmen gut mit den für Röhre II gefundenen Werten in Tabelle 11 und 12 überein. Da bei der Röhre III die Kapillare nur 5,9 cm lang ist, während bei Röhre II die Kapillare eine Länge von 14,7 cm hat, so können wir daraus entnehmen, daß der Gradient unabhängig ist von der Länge der Röhren.

Mit Röhre IV sollten speziell bei tieferen Drucken Versuche angestellt werden. Es traten jedoch dabei die Sondenstörungen auf, über die schon früher berichtet wurde. Die Messungen der Gradienten zwischen (23) sind aber wohl ziemlich frei von diesen Störungen, solange A Kathode ist. Da der Gradient längs der Kapillare ohne Sondenstörung sich nur wenig ändert, so sind für $p = 0{,}05$ mm Hg in Tabelle 14 die aus der Potentialdifferenz zwischen (23) für verschiedene Stromstärken berechneten Gradienten X gegeben.

Für die tieferen Drucke wurde es immer schwieriger, kontinuierliche Entladungen zu erhalten. Die Kontinuität tritt immer erst bei sehr großen Stromstärken ein, und gleichzeitig trat die Störung des Potentialverlaufes durch Sonden immer stärker hervor.

b) Röhren mit 0,66—0,8 cm Durchmesser.

Die Form der Röhren war die von Figur 4 c. Die Erweiterungen hatten eine Länge von 12 cm bis 14 cm und einen Durchmesser von ca. 3 cm. Die Länge l und der Durchmesser d der Röhren waren:

V. Röhre	$d = 0{,}80$ cm	$l = 15{,}5$ cm
VI. Röhre	$d = 0{,}80$ cm	$l = 29{,}5$ cm
VII. Röhre	$d = 0{,}66$ cm	$l = 26{,}0$ cm
VIII. Röhre	$d = 0{,}69$ cm	$l = 58{,}5$ cm.

Die Versuche mit den Röhren gibt Tabelle 15—20, und zwar bezieht sich Tabelle 15 auf Röhre V, Tabelle 16 auf VI, Tabelle 17 und Tabelle 18 auf Röhre VII und Tabelle 19 und 20 auf Röhre VIII.

Tabelle 15.

$i = 1{,}0 \cdot 10^{-8}$ Amp.

p	Gradient			
	12	23	34	III IV
1,25	39,9	39,7	40,0	30,0
0,23	18,2	17,2	17,2	7,6
0,024	8,6	6,4	7,0	—
0,007	6,1	5,0	6,7	—

Tabelle 16.

p	i	Gradient		
		12	23	34
0,40	0,5*	22,4	23,1	24,0
0,18	2,5	13,0	13,3	13,2
0,03	1,0	7,9	7,2	7,2
0,03	2,5	5,8	5,9	5,9
0,03	5,0	4,9	4,9	4,9

Tabelle 17.

p	i	Gradient		
		12	23	34
0,43	1,5	24,0	24,3	23,8
0,28	1,0	20,7	20,3	18,6
0,28	1,5	19,8	20,1	19,2
0,124	4,0*	11,0	11,1	11,2
0,122	1,0*	12,3	12,4	12,4
0,08	1,5	9,6	9,8	9,4

Tabelle 18.

$p = 0{,}02$ m Hg

i	Gradient		
	12	23	34
1,5	8,3	7,3	6,9
2,5	5,9	5,6	5,3
3,5	4,4	4,8	4,4
5,0*	3,8	4,1	4,3
5,0	4,7	4,2	3,9

Tabelle 19.

p	i	Gradient 12	23	34
0,11	1,5	11,2	11,1	10,0
0,05	2,0	7,8	7,8	7,7
0,043	2,0	7,4	7,5	7,0
0,03	2,0	7,0	6,9	6,5
0,024	2,5	5,5	5,6	5,1

Tabelle 20.

$p = 0{,}015$ mm Hg

i	Gradient 12	23	34
2,0	6,1	5,8	4,6
2,5	5,8	5,2	4,2
3,5	4,7	4,6	4,3
3,0	5,4	5,0	4,1
3,5	5,0	4,7	3,7
4,5	4,1	4,2	3,1

Vergleicht man zunächst die einzelnen Tabellen, so zeigt es sich, daß die Gradienten übereinstimmen, soweit es die verschiedenen Versuchsbedingungen (Reinheit des Gases, Änderung des Querschnitts, Änderung des Gradienten längs der Röhre, Störungen durch Sonden u. s. w.) gestatten. Der mittlere Gradient ist also wiederum unabhängig von der Länge der engen Röhre, wobei die Länge ungefähr in dem Verhältnis 1 : 4 variiert.

Betrachtet man den Verlauf des Gradienten längs der Röhre, so zeigt sich wieder in den meisten Fällen eine kleine Abnahme des Gradienten von der Striktionsanode zur Striktionskathode. Bei den mit * bezeichneten Stromstärken war die Elektrode *B* Kathode, bei ihnen ist also der Gradient in der Richtung 4 3 2 1 zu betrachten.

Eine Ausnahme in der Änderung des Gradienten längs der engen Röhre zeigt die Röhre VIII. Bei ihr ist in vielen Fällen eine starke Abnahme des Gradienten zu beobachten. Dasselbe Verhalten zeigt Röhre VII (in Tabelle 18) für $i = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. und $p = 0{,}02$ mm Hg. Auch bei Röhre VIII sind es speziell die kleinen Stromstärken bei tiefen Drucken, bei denen diese Erscheinung auftritt. Der Gradient ändert sich bei $p = 0{,}015$ mm Hg und $i = 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. von 6,1 auf 4,6, also um 25 %. Man könnte sich veranlaßt sehen, diese starken Änderungen darauf zurückzuführen, daß die Entladungen in diesem Falle diskontinuierlich waren (vgl. S. 63), aber weder Telephon noch rotierender Spiegel zeigten eine Diskontinuität an, ebenso war auch keine Empfindlichkeit gegen genäherte Leiter vorhanden. Diese starke Änderung trat übrigens bei gleichen Versuchsbedingungen nicht immer in gleicher Weise auf. Die

Tabelle 20 gibt drei verschiedene Messungsreihen, die zu verschiedenen Zeiten mit verschiedenen Gasfüllungen angestellt wurden. Vergleicht man die Gradienten bei den beiden Versuchsreihen für $i = 3{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp., so zeigt sich der große Unterschied zwischen den einzelnen Versuchsreihen. Beachtet man, daß der Abstand der einzelnen Sonden zwischen 17,8 und 18,0 cm liegt, so sieht man, daß der Spannungsabfall längs der ganzen Röhre in beiden Fällen nicht wesentlich verchieden ist.

Vergleicht man die Werte der Gradienten in den weiten und engen Röhrenteilen bei einem Durchmesser von 3,0 cm resp. 0,8 cm für verschiedene Drucke, so zeigt es sich, daß wiederum der Gradient in der weiten Röhre stärker mit dem Druck abnimmt als in der engen Röhre. Während bei ca. 1,3 mm Hg das Verhältnis der Gradienten in der weiten und engen Röhre 3 : 4 ist, ist es bei ca. 0,04 mm Hg gleich 2:3.

d) Unabhängigkeit des Gradienten von dem Kathodenfall bei der unempfindlichen Entladungsform.

Schon G. C. Schmidt[1]) hat darauf hingewiesen, daß, wie zu erwarten, der Gradient in einem Entladungsrohre unabhängig ist von dem Kathodenfall. Auch bei meinen Versuchen ist dies der Fall, solange bei der Änderung des Kathodenfalls durch Glühen der Kathode die Entladung nicht in die empfindliche Entladungsform übergeht. Speziell bei höheren Drucken ist eine Änderung des Kathodenfalles innerhalb weiter Grenzen möglich; so konnte bei Röhre VII bei $p = 0{,}28$ mm Hg und $i = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. der Kathodenfall zwischen 900 und 0 Volt beliebig geändert werden. Bei tiefen Drucken ist vielfach nur eine kleine Variation des Kathodenfalls möglich, da bei einer Änderung des Kathodenfalls teils die Entladung unstetig wird, teils in die empfindliche Entladungsform übergeht. In den meisten Fällen war bei den Röhren von der Form Figur 4c bei tiefen Drucken die Entladung kontinuierlich, wenn der Kathodenfall in der Nähe des normalen Kathodenfalls lag. So änderte sich für $p = 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. bei $i = 0{,}015$ mm Hg bei Röhre VII der Gradient nicht, wenn der Kathodenfall zwischen 500 Volt und 150 Volt geändert wurde. Wurde der Kathoden-

[1]) G. C. Schmidt, Ann. d. Phys. Bd. 1, S. 625. 1900.

fall kleiner als 150 Volt, so ging die Entladung in die empfindliche Form über und der mittlere Gradient stieg von 5,2 Volt/cm auf 17 Volt/cm.

e) Vergleich der für Luft gefundenen Gradienten mit den im Stickstoff beobachteten Gradienten.

Ein Vergleich meiner Beobachtungen mit denen von W. Hittorf[1]), A. Herz[2]), W. P. Graham[3]) und H. Schwienhorst[4]) ist nur in den wenigsten Fällen möglich. Nur die wenigen Versuche bei hohen Drucken im Abschnitt c können zum Vergleich herangezogen werden. Aber auch bei diesen ist zu berücksichtigen, daß meine Versuche aus den früher angegebenen Gründen mit Luft[5]) angestellt wurden, während die übrigen Beobachtungen sich auf Stickstoff beziehen.

In Tabelle 21 und 22 sind für $i = 1{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. einige Werte zusammengestellt, wie sie von verschiedenen Beobachtern unter ungefähr gleichen Versuchsbedingungen gefunden wurden. Die Tabellen gestatten zugleich einen Vergleich der Gradienten in Luft und Stickstoff.

Die Tabelle 21 bezieht sich auf die weiten Teile in meinen Entladungsröhren. Zum Vergleich sind herangezogen zwei Röhren von Herz[6]), eine Röhre von Graham[7]) und eine Röhre von Hittorf[8]). Der Durchmesser der Röhren ist in der Tabelle unter d angegeben.

Die Übereinstimmung der Gradienten in Luft und Stickstoff ist eine gute, wenn man berücksichtigt, daß außer dem

---

[1]) W. Hittorf, Wied. Ann. Bd. 20, S. 705. 1883.

[2]) A. Herz, Inaugural-Dissertation. Freiburg 1895; Wied. Ann. Bd. 54, S. 244. 1895.

[3]) W. P. Graham, Inaugural-Dissertation. Berlin 1897; Wied. Ann. Bd. 64, S. 49. 1898.

[4]) H. Schwienhorst, Inaugural-Dissertation. Göttingen 1903.

[5]) Die Verunreinigung durch H_2 (vgl. S. 39) dürfte bei den hohen Drucken nur wenig hervortreten.

[6]) A. Herz, a. a. O., S. 24, Tabelle III.

[7]) W. P. Graham, a. a. O., S. 12, Tabelle VI.

[8]) Die Werte der Gradienten sind entnommen aus den Tabellen von Herz (a. a. O., S. 25). Hittorf findet den Gradienten unabhängig von der Stromstärke. In Tabelle 21 sind die Werte der Gradienten angegeben, wie sie für die Stromstärken beobachtet wurden, deren Wert der Stromstärke $i = 1{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. am nächsten kommt.

Tabelle 21.

p	Herz d = 2,5 N_2	Reiger d = ca 3,0 Luft	Graham d = 3,3 N_2	Herz d = 5,0 N_2	Hittorf d = 5,5 N_2
1,80	—	—	—	37,8	—
1,74	46,5	—	—	—	—
1,70	—	43,2	—	—	—
1,68	—	—	46,4	—	—
1,50	—	—	—	—	39,2
1,48	—	—	40,7	—	—
1,29	36,8	—	—	—	—
1,28	—	31,9	—	—	—
1,25	—	30,0	—	32,4	—
1,20	—	35,0—30,0	—	—	—
1,02	—	—	31,4	—	—
0,65	—	—	19,2	—	—
0,6	—	—	—	—	18,2
0,55	—	19,2	—	—	—
0,46	—	12,7	—	—	—
0,23	—	7,6	—	—	—
0,20	—	—	—	—	6,6

Tabelle 22.

p	Reiger d = 0,27 — 0,3 Luft	Schwienhorst d = 0,27 N_2	Schwienhorst d = 0,22 N_2
1,80	—	85,0	90,0
1,70	86,5—85,1	—	—
1,28	67,5—63,8	—	—
1,20	62,1—58,0	—	—
1,01	—	62,3	59,5
0,68	—	49,7	52,3
0,55	44,7—39,2	—	—

verschiedenen Querschnitt noch der Umstand in Betracht kommt, daß der Gradient längs der positiven Säule nicht konstant ist. Für $p = 1{,}2$ mm Hg z. B. schwankte bei meinen Beobachtungen der Wert des Gradienten in der positiven Säule in den weiten Röhrenteilen zwischen 35 und 30 Volt/cm. Unterschiede von derselben Größe findet auch Graham in Stickstoff[1]).

[1]) Man vergleiche die zwischen verschiedenen Sonden gemessenen Gradienten in der positiven Säule in Tabelle 7 und 8 der Dissertation auf S. 18 und 20.

Der Einfluß dieser Änderungen des Gradienten längs der positiven Säule auf die beobachteten Werte tritt besonders hervor, wenn der Druck bei den einzelnen Beobachtungen sich nur wenig unterscheidet. Dies ist der Fall bei den für $p = 1{,}28$, 1,25 und 1,20 mm Hg angegebenen Werten der Gradienten. Die drei Werte beziehen sich übrigens auf drei verschiedene Röhren und auf drei verschiedene Gasfüllungen, da die Beobachtungen mit jeder Röhre für sich angestellt wurden.

Die Werte der Gradienten in den engen Röhren stimmen gut mit den Werten von Schwienhorst[1]) überein, wie Tabelle 22 zeigt.

Es unterscheiden sich somit die Gradienten in Luft und Stickstoff nicht wesentlich.

f) Beziehungen zwischen Lichterscheinungen und Potentialgradienten und zwischen Potentialgradienten und Ionentheorie.

Die Lichterscheinungen bei einer Röhre mit veränderlichem Querschnitt wurden zuerst von E. Goldstein[2]) ausführlich beschrieben. Er hat gefunden, daß das Licht längs der ganzen Kapillare dieselbe Farbe zeigt, und daß dieselbe Farbe auch bei dem Kathodenstrahlenbündel auftritt, das von der Kapillare ausgeht. Aber nicht nur die Farbe, sondern auch das Spektrum ist dasselbe.

Wird die Verbindungsröhre zwischen den weiten Gefäßen immer enger, so wird das Blau des Lichtes immer intensiver, und in dem Spektrum desselben treten alle Banden immer mehr und mehr zurück bis auf vier Banden, und gerade „diese vier Banden mit denselben Nebenmaximis in analoger Helligkeitsverteilung“ zeigt das Spektrum des Kathodenlichtes.

Diese Beobachtungen von E. Goldstein stehen im vollen Einklang mit den vorhergehenden Potentialmessungen und finden ihre Erklärung in denselben. Sieht man ab von den Ausnahmefällen bei Röhre VIII[3]), so ist der Gradient längs der engen Röhre ziemlich konstant, und dementsprechend ändert sich

[1]) H. Schwienhorst, a. a. O., S. 20.
[2]) E. Goldstein, Wied. Ann. Bd. 11, S. 832. 1880.
[3]) s. S. 50.

die Färbung der positiven Säule nicht für diesen Teil des Rohres. Tritt ein anormaler Potentialabfall infolge Sondenstörung auf, so ist sofort eine intensivere Blaufärbung zu beobachten. Da Farbe und Spektrum der Kathodenstrahlen mit dem der Röhre übereinstimmen, so läßt sich schon daraus entnehmen, daß ein Potentialsprung an der Striktionskathode nicht auftritt. Dies haben in der Tat die Potentialmessungen ergeben, solange keine Intensitätssteigerung des Lichts in der Kapillare infolge von Sondenstörung auftritt.

Die Potentialmessungen ergeben, daß mit abnehmendem Druck das Verhältnis der Gradienten in engen und weiten Röhren immer größer wird. In Übereinstimmung hiermit ist bei tiefen Drucken der Unterschied in der Blaufärbung für Röhren von verschiedenem Querschnitt besonders groß, und gleichzeitig damit treten die Kathodenerscheinungen an der Übergangsstelle vom engen zum weiten Querschnitt in der Richtung des negativen Stroms immer deutlicher hervor.

Eine Erklärung der Kathodenerscheinungen bei einer Verengerung des Querschnittes vom Stande der Ionentheorie aus wurde schon von J. Stark[1]) gegeben. Die Erklärung der Erscheinungen durch die Verschiedenheit der Geschwindigkeit der Ionen in den engen und weiten Röhren infolge des verschiedenen Gradienten findet eine weitere Stütze darin, daß nach den Ergebnissen der Potentialmessungen bei tiefen Drucken die Geschwindigkeitsunterschiede im engen und weiten Rohr größer sind, als nach den bisherigen Potentialmessungen der Theorie zu Grunde gelegt werden konnte[2]).

g) Resultate.

Für die unempfindliche Entladungsform ergibt sich bei kontinuierlichem Stromdurchgang:

1. Bei den tiefen Drucken werden in engen Röhren durch Sonden mitunter beträchtliche Störungen im Potentialverlauf herbeigeführt.

2. An der Striktionskathode findet kein Potentialsprung statt. Die Kathodenerscheinungen sind durch den starken Potentialabfall in der engen Röhre bedingt.

---

[1]) J. Stark, Die Elektrizität in Gasen. Leipzig 1902, S. 148.
[2]) J. Stark, Ann. d. Phys. Bd. 4, S. 215, 1901.

3. Das Verhältnis der Gradienten in den engen und weiten Röhren wird mit abnehmendem Drucke immer größer.

4. Der Gradient ändert sich (speziell für große Stromstärken) von der Striktionsanode zur Striktionskathode nur wenig. Eine Ausnahme tritt nur bisweilen bei kleinen Stromstärken auf, wenn der enge Röhrenteil eine große Länge hat.

5. Der mittlere Gradient in der engen Röhre ist unabhängig von der Länge der Röhre.

6. Im Striktionsglimmlicht ist der Gradient kleiner als in den übrigen Teilen des weiten Entladungsrohres.

7. Der Gradient ist unabhängig vom Kathodenfall. Es ist dies eine Bestätigung der Versuche von G. C. Schmidt.

8. Die für Luft gefundenen Gradienten unterscheiden sich nicht wesentlich von den für Stickstoff gefundenen Gradienten.

9. Den Potentialmessungen entsprechen Beobachtungen von Goldstein über Färbung und Spektrum der positiven Säule in engen Röhren.

10. Die Erklärung der Striktionskathodenerscheinungen von J. Stark auf Grund der Ionentheorie erhält eine Stütze durch die Potentialmessungen bei tiefen Drucken.

3. Über den Potentialverlauf bei der empfindlichen Entladungsform.

Strahlen größerer Starrheit treten an der Striktionskathode nur bei der empfindlichen Entladungsform auf. Es erschien daher wünschenswert, auch diese Entladungsform in den Bereich der Untersuchung zu ziehen, trotzdem sie als diskontinuierlich anzusehen ist. Für die Untersuchung bei dieser Entladungsform wählt man am besten den Fall, bei dem eine Diskontinuität weder mit rotierendem Spiegel noch mit dem Telephon nachzuweisen ist. (Scheinbar kontinuierliche Entladung.)

Gegen eine Messung mit Sonden müssen sich Bedenken geltend machen. So schreiben E. Wiedemann und G. C. Schmidt[1]: „Sobald disruptive Entladungen auftreten, ist die Verwendung von Sonden nicht mehr ohne weiteres möglich, da

[1]) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, a. a. O., S. 321.

diese selbst infolge der auftretenden Oszillationen zu Kathoden werden und nicht mehr das Potential des Gases anzeigen. Besondere Versuche sollen prüfen, ob hier mit weißglühenden Sonden Resultate zu erzielen sind."

Eine Potentialmessung ließe sich in der Tat mit glühenden Sonden und der Braunschen Röhre durchführen, wenn nicht durch die angelegte Kapazität der ganze Entladungsvorgang sich ändern würde, wie frühere Beobachtungen gezeigt haben. Wurde die Röhre, deren Dimensionen S. 31 gegeben sind, von einer empfindlichen Entladung durchsetzt, bei der die Empfindlichkeit das einzige Merkmal der Diskontinuität war, so änderte sich die Entladung nicht, wenn die Akkumulatoren und Vorschaltwiderstände mit den Sonden verbunden wurden. Die Entladung erschien im rotierenden Spiegel auch noch kontinuierlich, wenn die Sonde im Striktionsglimmlicht geglüht wurde. Wurde dagegen die Sonde vor der Striktionsanode zum Glühen gebracht, so traten schwache Diskontinuitäten auf, die sehr stark wurden, wenn beide Sonden glühten. Wurde eine Kapazität an die Sonden angelegt, so waren die Wirkungen natürlich sehr viel stärker. Es genügte dann schon, die Hand dem Vorschaltwiderstand zu nähern, um die Zahl der Entladungen zu ändern.

Es ist aber, abgesehen von der Änderung der Entladungsform, zu berücksichtigen, daß durch die Temperatursteigerung die Leitfähigkeit des Gases vergrößert wird, und daß durch den Platindraht, der mit einem wirksamen Oxyd bedeckt ist, ein sehr starker Ionisator in das Gas gebracht wird.

Potentialgradienten ließen sich auch nach der kalorimetrischen Methode bestimmen, doch ist dies nach E. Wiedemann und G. C. Schmidt[1]) nur dann gestattet, wenn die gesamte elektrische Arbeit dort, wo sie geleistet wird, auch in Wärme umgesetzt wird. Unterscheiden sich daher bei den tiefen Drucken die Gradienten an verschiedenen Stellen der Entladungsröhre beträchtlich, so wird leicht derselbe Fall eintreten wie beim Glimmlicht, daß das Maximum der Erwärmung nicht an den Stellen des größten Potentialabfalles liegt, sondern daß durch den letzteren der Elektrizität eine kinetische Energie

[1]) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, a. a. O., S. 330.

erteilt wird, die erst in weiter entfernten Teilen der Röhre in Wärme umgesetzt wird.

Für die Folge bin ich daher zu der Verwendung kalter Sonden zurückgekehrt. Wir haben gesehen, daß der Kathodenfall, der für größere Stromstärken an diesen Sonden auftritt, wie ein großer Widerstand wirkt. Infolgedessen ist der Einfluß der Kapazität des Elektrometers auf die Entladung bei kalten Sonden kleiner als bei heißen Sonden.

Die Potentialmessungen wurden im folgenden in der Weise durchgeführt, daß die beiden Sonden, zwischen denen die Potentialdifferenz gemessen wurde, mit den Quadrantenpaaren des Elektrometers verbunden wurden und die Nadel abwechselnd an die beiden Quadrantenpaare angelegt wurde. Bei den folgenden Beobachtungen ist zu berücksichtigen, daß der Ausschlag des Elektrometers mit quadratischer Empfindlichkeit nicht die höchste Potentialdifferenz gibt, die zwischen den Sonden überhaupt auftritt, sondern einen zeitlichen Mittelwert.

Die verschiedene Empfindlichkeit der einzelnen Teile des Entladungsrohres weist allerdings darauf hin, daß der Einfluß des Elektrometers beim Anlegen an verschiedene Sonden verschieden sein wird. Es wurden im folgenden nur dann Messungen angestellt, wenn beim Anlegen des Elektrometers an die Sonden keine Anzeichen der Diskontinuität außer dem dunklen Raum auftraten. Allerdings war dieser Zustand in den meisten Fällen nur durch sehr sorgfältiges Regulieren des Widerstandes und des Glühzustandes der Kathode zu erzielen. War dieser Zustand bei einer Röhre für eine bestimmte Stromstärke erreicht, so zeigte das Elektrometer einen konstanten Ausschlag, während bei den Entladungen, in denen eine Diskontinuität mit dem rotierenden Spiegel nachzuweisen war, der Ausschlag meist sehr stark schwankte.

Eine gewisse Garantie dafür, daß die Entladungsform durch das Anlegen des Elektrometers an die Sonden verschiedener Strecken nicht wesentlich verschieden geändert wurde, ergibt sich daraus, daß die Summe der zwischen den Sonden (a b) und (b c) gemessenen Potentialdifferenz übereinstimmte mit der zwischen den Sonden (a c) gemessenen Potentialdifferenz. So ergab sich für Röhren von der Form der Figur 4 c

$$(\mathrm{II\ III}) = (\mathrm{II\ 1}) + (12) + (23) + (34) + (4\ \mathrm{III})$$

und für Röhren von der Form der Figur 4a

$$(\text{III IV}) = (\text{III 1}) + (12) + (23) + (3\ \text{IV});$$

dagegen war vielfach

$$(\text{I II}) + (\text{II III}) > (\text{I III})$$

Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Potentialdifferenzen zwischen diesen Sonden sehr klein sind, und daher Störungen in der Potentialverteilung, wie sie durch die Verengerung des Querschnitts durch die dunklen Räume an den Sonden bedingt sind, hier besonders stark hervortreten.

a) Potentialmessungen in Röhren mit Verengerungen im Querschnitt.

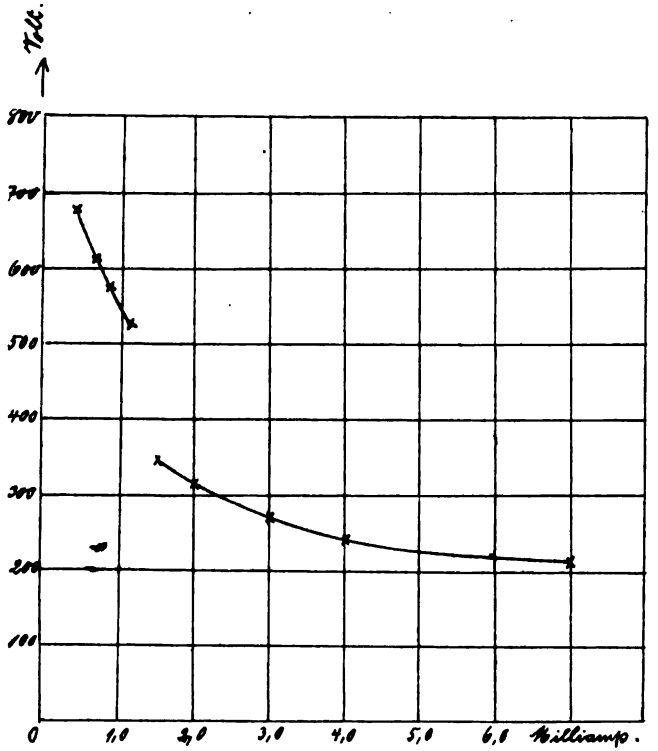
1. Übergang von der unempfindlichen zur empfindlichen Entladungsform.

Die zu den Versuchen dienenden Röhren hatten die Form der Röhren in Figur 4a und c. Der Übergang von der empfindlichen zur unempfindlichen Entladungsform trat unter den schon im ersten Abschnitt angegebenen Bedingungen auf. Das Auftreten stärkerer Diskontinuitäten, hat seinen Grund darin, daß der Übergang mit einem Potentialsprung für die positive Säule verbunden ist.

Ein Bild dieser Erscheinung gibt Figur 5. Die Kurve bezieht sich auf die Röhre II. Als Ordinaten sind die Spannungsabfälle zwischen den Sonden (II III), als Abszissen die Stromstärken aufgetragen. Für die kleinen Stromstärken, die die empfindliche Entladungsform darstellen, nimmt die Spannung mit wachsender Stromstärke rasch ab. Zwischen 1,05 und $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. findet der Übergang von der empfindlichen zur unempfindlichen Entladungsform statt. Für die letztere Entladungsform nimmt der Spannungsabfall mit wachsender Stromstärke anfangs rasch ab, dann langsamer und nähert sich schließlich einem konstanten Werte.

2. Verteilung des Spannungsabfalls in der engen Röhre.

Der Spannungsabfall verteilt sich zwischen den einzelnen Sonden so, daß der Spannungsabfall kleiner wird von der Striktionsanode zur Striktionskathode.



Figur 5.

Die Verteilung des Spannungsabfalls für Röhre II gibt die Tabelle 23 für verschiedene Stromstärken bei einem Druck von

Tabelle 23.

i	Gradient				
	II 1	12	23	34	4 III
0,40	(62,1)	47,1	42,4	31,7	(17,6)
0,60	(51,0)	43,1	39,7	30,1	(14,2)
0,75	(47,5)	38,7	37,3	29,2	(13,8)
1,05	(36,8)	36,6	33,6	25,8	(14,3)
1,50*	(16,1)	24,1	20,4	20,3	(15,4)

$p = 0{,}08$ mm Hg. Da der Abstand der einzelnen Sonden sehr verschieden war, so sind in den Tabellen die mittleren Gradienten gegeben, wie sie sich aus den gemessenen Potentialdifferenzen zwischen den einzelnen Sonden ergeben. Die Berechnung der Gradienten für (II 1) und (4 III) hat an und für sich

keinen Sinn, da die Entladungsstrecken je zwei verschiedenen Querschnitten angehören; da aber in beiden Fällen ungefähr die Hälfte der Strecke dem weiten und die andere Hälfte dem engen Rohre angehörte, so gestatten die Werte einen Vergleich des Potentialabfalles für die beiden Strecken. Die mit * versehene Stromstärke bezieht sich auf die unempfindliche Entladungsform [1]).

Der Unterschied der Potentialverteilung bei der empfindlichen und unempfindlichen Entladungsform tritt besonders deutlich in der graphischen Darstellung hervor. Diese ist in Figur 6 und Figur 7 gegeben. Figur 6 gibt den Verlauf des Potentials in der Kapillare, das Potential in Sonde 1 gleich x gesetzt. In Figur 7 ist der Gradient $\frac{dV}{dl}$ als Funktion des Abstandes von Sonde 1 dargestellt. Dabei ist angenommen, daß der mittlere Wert des Gradienten gleich dem Gradienten in der Mitte der Strecke gesetzt werden kann, für die die Potentialdifferenz bestimmt wurde. Für die großen Stromstärken bei der unempfindlichen Entladung ist der Potentialverlauf nahezu geradlinig; es ist somit $\frac{dV}{dl} = const.$ Für die kleinen Stromstärken ändert sich dagegen $\frac{dV}{dl}$ stark. Die Änderungen des Gradienten betragen hier bis über 30 % [2]).

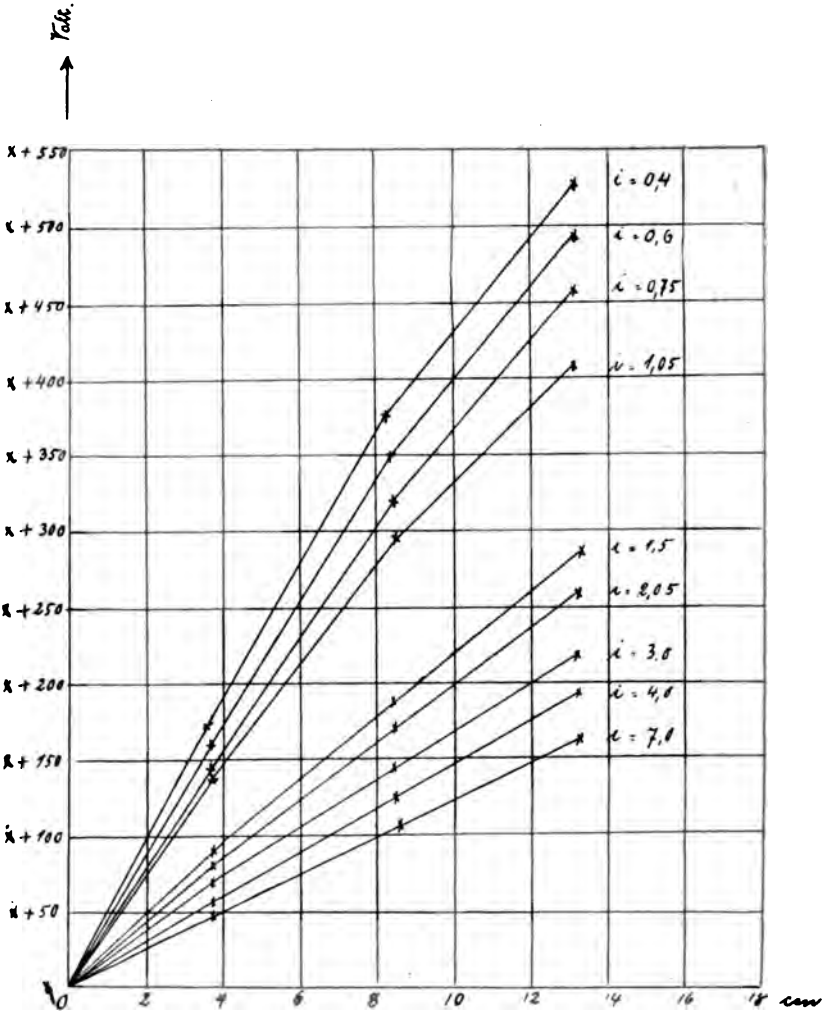
Die übrigen Röhren, deren enger Röhrenteil einen Durchmesser von 0,3 cm hatte, ergaben qualitativ dieselben Resultate, jedoch zeigten die quantitativen Bestimmungen bei den einzelnen Röhren mitunter ziemliche Abweichungen. Ich verzichte auf die Mitteilung dieser Messungsreihen aus Gründen, die auf S. 64 gegeben werden sollen.

Dieselben Erscheinungen zeigen auch die Röhren, bei denen das enge Rohr einen Durchmesser von ca. 0,8 cm hatte. Die

[1]) Vgl. Tabelle 12, S. 47.

[2]) Nimmt man an, daß auch für ein stromdurchflossenes Gas die Gleichung $\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -4\pi\varrho$ gilt (vgl. hierzu: E. Wiedemann, Wied. Ann. Bd. 20, S. 777. 1883; A. Schuster, Proc. Roy. Soc. Bd. 47, S. 541. 1890 und J. Stark, Die Elektrizität in Gasen. Leipzig 1902. Mechanismus der elektrischen Strömung), so ergibt sich für die unempfindliche Entladungsform eine starke räumliche Ladung in der Kapillare.

Erscheinungen treten nur in etwas schwächerer Form auf. Tabelle 24 gibt einige Werte der Gradienten für die Röhre V bei der empfindlichen Entladungsform. Bei den Röhren, bei

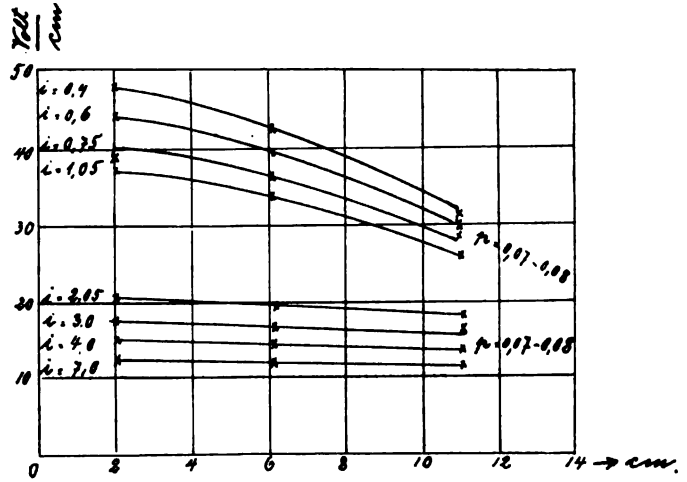


Figur 6.

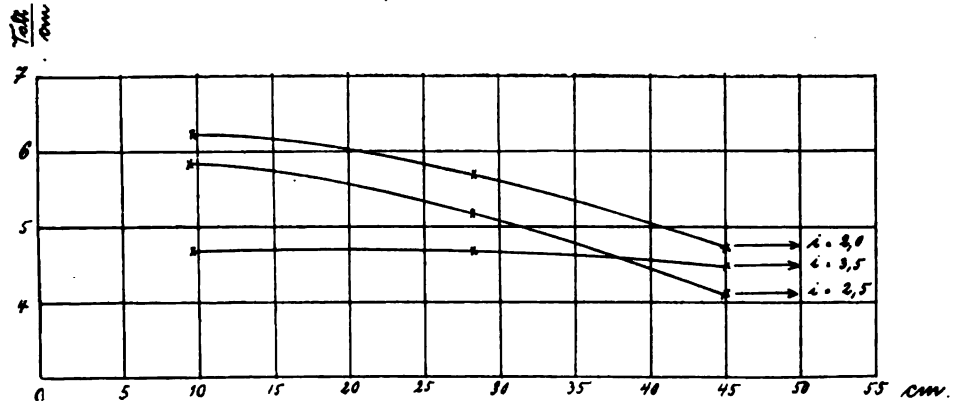
denen die enge Röhre eine größere Länge hatte, traten die oben angeführten Erscheinungen mitunter wieder sehr stark hervor.

Die starke Änderung des Gradienten längs des engen

Röhrenteiles trat aber hier, wie schon oben erwähnt wurde, auch bei der unempfindlichen Entladungsform auf. In Figur 8 ist der Verlauf des Gradienten bei der letzteren Entladungsform für einige Werte der Stromstärken aus Tabelle 20 bei einem Druck von $p = 0{,}015$ mm Hg graphisch dargestellt. Die Ähn-



Figur 7.



Figur 8.

lichkeit der Kurven für $i = 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. und $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. mit den Kurven für die empfindliche Entladungsform in Figur 7 tritt deutlich hervor. Für $i = 3{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. ist die Versuchsreihe gewählt, bei der keine starke Änderung des Gradienten längs des Rohres auftrat. (Vgl. hierzu S. 50 und S. 51.)

Tabelle 24.

p	i	Gradient		
		12	23	34
0,040	0,20	17,6	16,2	12,5
0,030	0,25	17,1	14,4	13,1
0,025	0,40	15,6	12,6	10,7

3. Abhängigkeit der Potentialverteilung vom Kathodenfall.

Während bei der kontinuierlichen Entladungsform der Gradient unabhängig vom Kathodenfall war, ändert sich bei der empfindlichen Entladungsform die Potentialverteilung stark mit dem Glühzustand der Kathode.

Der Kathodenfall konnte zwar vielfach noch innerhalb weiter Grenzen geändert werden, ohne daß eine Änderung in der Potentialverteilung eintrat, häufig genügte jedoch schon eine kleine Änderung des Glühzustandes der Kathode, um eine Änderung in der Potentialverteilung herbeizuführen. In der Tabelle 25 sind einige Versuchsreihen für Röhre VI mitgeteilt, die die Abhängigkeit der Potentialverteilung vom Kathodenfalle bei einem Druck von $p = 0{,}04$ mm Hg und der betreffenden

Tabelle 25.

$i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp.

K	Pot. Diff.			
	II 1	12	23	34
I (400)	106,7	161,6	122,3	101,7
II	141,5	148,9	96,4	47,1
III	100,2	163,0	110,5	31,9

$i = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp.

K	Pot. Diff.			
	II 1	12	23	34
I (150)	15,4	57,7	57,1	57,0
II	114,5	140,2	87,0	32,8
III	82,9	154,8	94,2	37,2

$i = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp.

K	Pot. diff.			
	II 1	12	23	34
I (ca. 50)	10,1	55,0	54,8	54,3
II	79,5	121,1	97,9	36,4
III	56,1	125,0	98,9	35,5

$i = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp.

K	Pot. Diff.			
	II 1	12	23	34
I (ca. 50)	10,3	45,3	45,0	45,0
II	10,3	45,3	45,0	45,0
III	10,3	45,3	45,0	45,0

Stromstärke geben. Es beziehen sich dabei die unter I gegebenen Werte der Potentialdifferenzen auf einen Kathodenfall, dessen Wert in Klammern beigefügt ist; die unter II und III gegebenen Werte beziehen sich auf sehr kleine Kathodenfälle, bei denen an der Kathode nur noch schwaches Glimmlicht vorhanden war, respektive auch der letzte Rest von Kathodenerscheinungen bei sehr stark glühender Kathode verschwunden war.

Der Abstand der Sonden war

	II 1	12	23	34
cm	1,8	9,4	9,2	9,1

Bei $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. war die Entladungsform stets die empfindliche. Bei 1,5 und $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. trat bei einem Kathodenfall von 150 respektive 50 Volt die unempfindliche Entladungsform auf. Bei Steigerung des Glühzustandes der Kathode ging jedoch die Entladung in die empfindliche Form über. Bei $i = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. ist die Entladungsform in allen Fällen die unempfindliche, und die Potentialverteilung bleibt infolgedessen für alle drei Fälle dieselbe. Ist schwaches Glimmlicht vorhanden, so tritt zwischen (II 1) ein starker Potentialabfall auf, und längs der engen Röhre nimmt der Gradient stark ab. Bei stark glühender Kathode verschiebt sich das Maximum des Potentialabfalles gegen (12) hin, die starke Abnahme des Gradienten längs der engen Röhre bleibt bestehen.

Wurde der Druck geändert, so traten bei dieser Röhre stets dieselben Erscheinungen auf, jedoch wurden die beiden Grenzstromstärken[1]), bei welchen 1. die unempfindliche Entladungsform überhaupt nicht auftrat, 2. die Entladungsform stets unempfindlich war, mit abnehmenden Drucken größer.

Auch bei den anderen Röhren wurden ähnliche Erscheinungen beobachtet, doch war der Einfluß des Glühzustandes nicht immer derselbe. In den meisten Fällen war eine scheinbar kontinuierliche Entladung für die verschiedenen Stadien nicht zu erhalten. Die Verschiebung der Grenzstromstärke und eine starke Abnahme der Gradienten längs der engen Röhre war jedoch bei allen Röhren zu beobachten[2]). Bei den Röhren,

[1]) s. S. 22.

[2]) Bei einigen Röhren wurde in einzelnen Fällen auch keine wesentliche Änderung des Gradienten längs der Verengerung beobachtet.

deren enger Röhrenteil einen Durchmesser von 0,3 cm hatte, war bei den tiefsten Drucken eine kontinuierliche Entladung meist nur sehr schwer, mitunter überhaupt nicht mehr zu erhalten.

Ich verzichte darauf, hier eine größere Anzahl von Versuchsreihen mitzuteilen, da infolge der großen Abhängigkeit der Versuche von der Kapazität der einzelnen Röhren und von dem Glühzustand der Kathode ein Vergleich der einzelnen Messungsreihen doch nicht möglich ist. Auch ein Vergleich der Messungsreihen bei derselben Röhre ist, abgesehen von der Schwierigkeit, dieselben Versuchsbedingungen herzustellen, nur solange möglich, als keine merkliche Zerstäubung der Sonden stattgefunden hat. Denn durch diese Zerstäubung wird der Potentialverlauf vielfach gestört[1]).

Tabelle 26.

Pot. Diff.				K	Bemerkung
II 1	12	23	34		
103,7	154,0	121,8	100,5	350	Dieselbe Gasfüllung. Zwischen beiden Versuchen ca. $1^1/_2$ h.
106,7	161,6	122,3	101,7	400	
110,2	148,5	115,9	96,6	200	Neue Gasfüllung. Zwischen den beiden Versuchen ca. 2 h.
102,0	154,0	118,8	97,6	700	

Tabelle 26 zeigt, daß ungefähr dieselben Potentialdifferenzen für die einzelnen Sonden erhalten wurden, wenn es gelang, dieselben Versuchsbedingungen herzustellen. Die Versuche beziehen sich auf Röhre VI bei einer Stromstärke von $i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. und einem Druck von $p = 0{,}03$ mm Hg. Die Versuche sind bei einem Kathodenfall von über 200 Volt angestellt, da bei den größeren Kathodenfällen die Änderung der Potentialverteilung mit dem Kathodenfall meist klein ist, wenn für dieselben eine scheinbar kontinuierliche Entladung zu erzielen ist. Zwischen den einzelnen Beobachtungsreihen liegt stets eine Reihe anderer Beobachtungen.

---

[1]) An dem Metallspiegel, der durch die Zerstäubung der Sonden entsteht, treten sekundäre Kathoden auf, die eine Veränderung des Querschnittes bedingen.

b) Potentialmessungen in Röhren ohne Verengerungen im Querschnitt.

Die folgenden Versuche wurden angestellt, um das Verhalten von Röhren von ungeändertem Querschnitt bei der empfindlichen Entladungsform bei tiefen Drucken zu beobachten. Untersucht wurden zwei Röhren.

Die erste Röhre hatte einen Durchmesser von 2,5 cm und eine Länge von 51,5 cm. In die Röhre wurden durch seitlich angeschmolzene Röhren acht Sonden eingeführt[1]). Der Abstand der Sonden betrug 4,6 bis 5,1 cm. Der Gradient bleibt für die unempfindliche kontinuierliche Entladung längs des Rohres bei den tiefen Drucken auch für kleine Stromstärken ziemlich konstant. Wird der Kathodenfall sehr klein, so tritt die empfindliche Entladungsform auf. Der Gradient ist dann wieder wesentlich höher, und gleichzeitig treten stärkere Änderungen des Gradienten längs der Röhre auf.

Tabelle 27.

p	Gradient						
	12	23	34	45	56	67	78
0,013*	2,6	2,5	2,6	2,5	2,5	2,3	2,5
0,008*	2,2	1,9	2,0	1,9	2,0	1,9	1,9
0,014	3,9	6,5	3,7	6,3	7,2	4,9	3,6
0,005	3,9	4,4	3,4	5,0	5,3	4,7	4,4

Tabelle 27 gibt einige Messungsreihen für die Stromstärke $0{,}6 \cdot 10^{-3}$ Amp. Die beiden ersten Messungsreihen beziehen sich auf die kontinuierliche, die beiden letzten auf die scheinbar kontinuierliche Entladungsform.

Die zweite Röhre hatte einen Durchmesser von 0,76 cm und eine Länge von 100 cm. Es waren sechs Platinsonden eingeschmolzen, deren Abstände 13 bis 14 cm betrugen. Als Anode diente bei den folgenden Versuchen ein Aluminiumdraht. Der Abstand der Sonde 6 von der Anode war teils 5 cm teils 0,6 cm. Einige der Messungsreihen gibt Tabelle 28.

Die mit * versehenen Stromstärken beziehen sich wieder auf die kontinuierliche, unempfindliche Entladungsform, die übrigen

[1]) s. S. 41.

Tabelle 28.

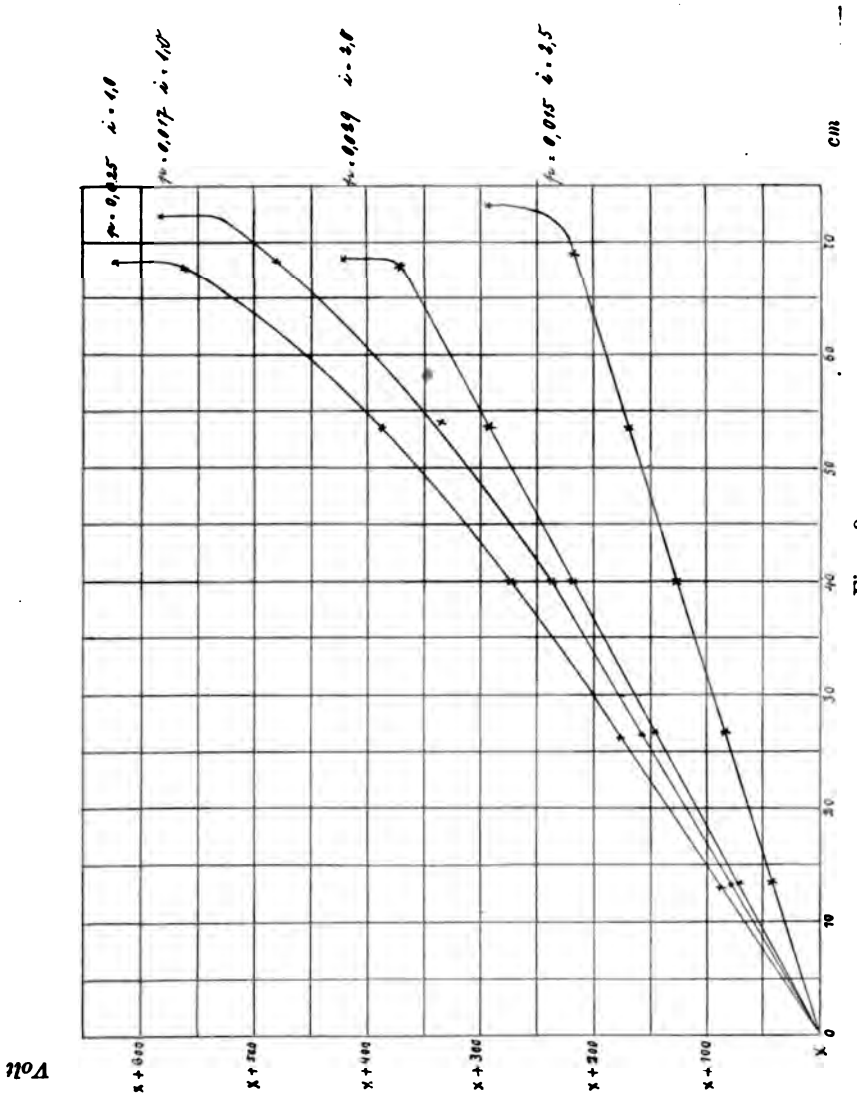
p	i	Abstand 6 A	Gradient 12	23	34	45	56
0,017	1,0	5,0	6,0	5,7	5,8	7,4	9,9
0,015	2,5*	5,0	2,9	3,4	3,1	3,3	3,4
0,025	1,0	0,6	6,4	6,7	7,0	8,7	12,6
0,032	1,0	0,6	6,4	7,2	7,2	9,2	12,3
0,032	1,5*	0,6	5,2	5,5	5,3	5,4	5,5
0,029	2,0*	0,6	4,6	4,7	4,5	4,6	4,7

auf die scheinbar kontinuierliche, empfindliche Entladungsform. Das Verhalten der letzteren gegen genäherte Leiter war im wesentlichen dasselbe wie bei den Röhren mit veränderlichem Querschnitt. Es zeigte sich, daß wieder speziell die Sonden in der Nähe der Kathode gegen Anlegen des Elektrometers empfindlich waren, und häufig löste sich dabei die Entladung in wahrnehmbare Einzelentladungen auf. Es war jedoch bei dieser Röhre durch Änderung des Glühzustandes der Kathode stets leicht zu erzielen, daß die scheinbar kontinuierliche Entladungsform erhalten wurde, und daß dieser scheinbar kontinuierliche Charakter der Entladung auch beim Anlegen von Kapazitäten an die Sonden erhalten blieb. Besonders leicht war dies zu erreichen, wenn vor dem Anlegen der Kapazität an die Sonden schon einige Zeit lang eine Entladung durch die Röhre gegangen war.

Die Tabelle 28 zeigt, daß bei der unempfindlichen Entladungsform der Gradient längs der Röhre ziemlich konstant ist. Es zeigen jedoch sämtliche Messungsreihen, nicht nur die in der Tabelle mitgeteilten, von der Kathode aus zunächst ein Ansteigen des Gradienten, dann eine Abnahme und dann wieder ein langsames Ansteigen bis zur Anode.

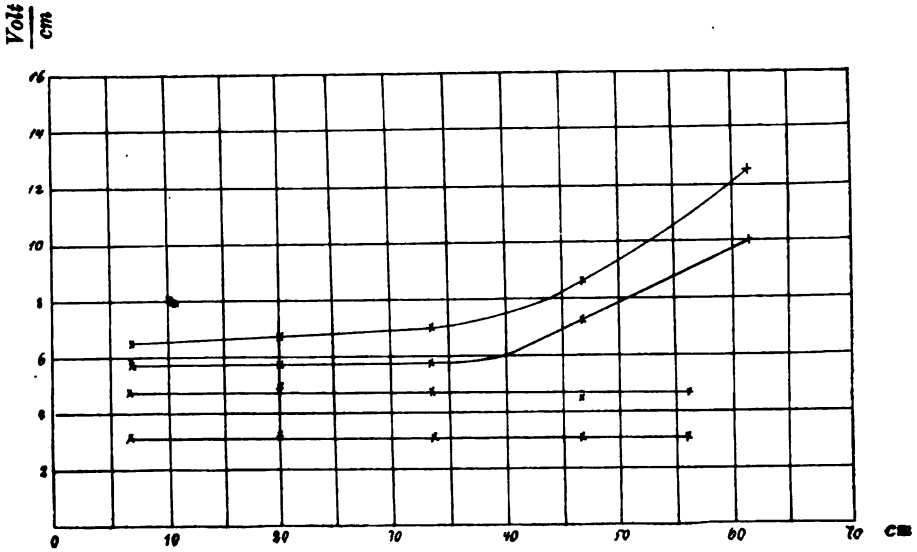
Bei der scheinbar kontinuierlichen Entladung ist der Gradient zwar anfangs auch noch konstant, wenn man in der Richtung des negativen Stromes geht, dann steigt er aber allmählich sehr stark an.

Figur 9 gibt ein Bild der Potentialverteilung längs der Röhre, das Potential bei Sonde 1 gleich x gesetzt. Man sieht, daß bei der kontinuierlichen Entladungsform das Potential geradlinig ansteigt bis zu dem Anodenfall; dagegen steigt für die empfindliche Entladung die Potentialkurve etwa von der

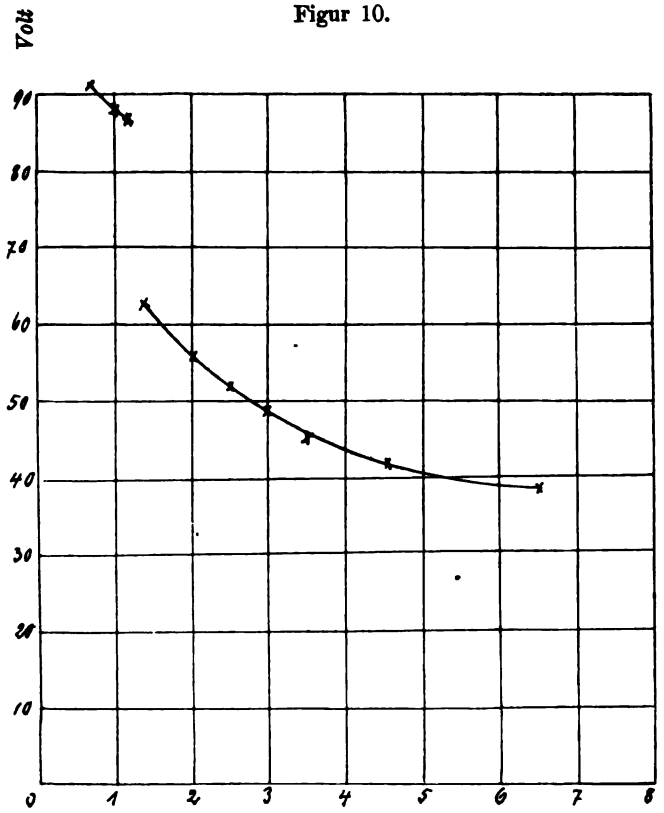


Figur 9.

Mitte ab sehr viel steiler an. Noch deutlicher tritt der Unterschied hervor, wenn man statt des Potentialverlaufs den Verlauf des Gradienten graphisch darstellt. In Figur 10 sind die Gradienten in $\frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$ als Ordinaten, die Entfernungen von Sonde 1 als Abszissen aufgetragen. Dabei ist wie auf S. 61 angenommen, daß der Gradient in der Mitte der Strecke, für die die Spannungs-



Figur 10.



Figur 11.

differenz gemessen wurde, gleich dem mittleren Gradienten ist, wie er sich aus der zwischen den betreffenden Sonden gemessenen Spannungsdifferenz ergibt, eine Annahme, die allerdings nicht streng zutrifft.

Der Übergang von der unempfindlichen zur empfindlichen Entladungsform findet wieder sprungweise statt. Dies zeigt Figur 11, in der die Potentialdifferenz zwischen den Sonden (34) als Funktion der Stromstärke dargestellt ist. Der Sprung wäre noch weit größer, wenn wir eine der folgenden Strecken des Entladungsrohres den Beobachtungen zugrunde gelegt hätten.

Um zu sehen, ob das starke Ansteigen des Gradienten bei der empfindlichen Entladung nicht durch sekundäre Umstände bedingt ist, wurde noch ein Versuch angestellt, bei dem die Aluminiumelektrode durch einen Platindraht mit wirksamen Oxyd ersetzt war. Die beiden Elektroden wurden abwechselnd zu Kathoden gemacht. Die Potentialverteilung ergab in beiden Fällen das starke Ansteigen des Gradienten gegen die Anode. Die Beobachtungsreihen stimmten gut mit den Beobachtungsreihen der Tabelle 28 überein. Ich verzichte daher darauf, sie mitzuteilen.

c) Kathodenerscheinungen bei diskontinuierlichen Entladungen und Ventilwirkung.

Die Potentialmessungen bei den scheinbar kontinuierlichen Entladungen zeigen deutlich, daß die Kathodenstrahlen bei diskontinuierlichen Entladungen ihre Starrheit nicht einem Potentialsprung an der Striktionskathode, sondern dem Potentialabfall in der engen Röhre verdanken. An der Übergangsstelle von dem engen zu dem weiten Rohre in der Richtung des negativen Stromes ist der Spannungsabfall in den meisten Fällen nicht größer als bei den kontinuierlichen Entladungen; ist er aber größer, so ist der Unterschied in beiden Fällen klein. Jedenfalls kann aus dieser Potentialsteigerung nicht das Auftreten der sehr viel intensiveren Kathodenstrahlen erklärt werden.

Wir haben bei den kontinuierlichen Entladungen gesehen, daß die mit abnehmendem Druck immer deutlicher hervortretenden Kathodenerscheinungen sich daraus erklären, daß das Verhältnis der Gradienten in den engen und weiten Röhren-

teilen mit abnehmendem Druck immer größer wird. Die Potentialmessungen bei den scheinbar kontinuierlichen Entladungen beziehen sich nur auf tiefe Drucke, sie zeigten jedoch, daß der Unterschied des Gradienten im engen und weiten Rohr ein beträchtlicher ist. Daß auch hier das Verhältnis der Gradienten bei den hohen Drucken in engen und weiten Röhren kleiner ist, zeigen kalorimetrische Messungen von E. Wiedemann[1]). Aus denselben ergibt sich, daß der Unterschied zwischen der Erwärmung in engen und weiten Röhren nicht sehr groß ist, daß aber bei den tiefen Drucken eine beträchtliche Abweichung davon zu beobachten ist, insofern die Erwärmung in den engen Röhren sehr viel größer ist als in den weiten.

Die kalorimetrischen Messungen von E. Wiedemann geben uns aber noch über eine weitere Erscheinung Aufklärung. Geht man von einer scheinbar kontinuierlichen oder schwach diskontinuierlichen Entladung zu einer stark diskontinuierlichen Entladung über, so treten bei den tiefen Drucken an der Striktionskathode Strahlen sehr viel größerer Starrheit auf. Bei diesen Entladungen läßt sich mit Sondenmessung nichts erreichen, da in diesen Fällen ein konstanter Elektrometerausschlag nicht mehr möglich ist. Die Ausschläge deuten allerdings darauf hin, daß in diesen Fällen das Entladungspotential in der Kapillare sehr viel höher ist. Dies wird bestätigt durch die kalorimetrischen Messungen, die ergaben, daß zwar im allgemeinen der Unterschied der Erwärmung in der positiven Säule mit und ohne Funkenstrecke nicht allzu groß ist, daß dagegen bei den tiefen Drucken mit dem Einschalten einer Funkenstrecke (Abnahme der Zahl der Entladungen) die Erwärmung beträchtlich zunimmt. Auf die stark diskontinuierlichen Entladungen werde ich bei der magnetischen Ablenkung der Striktionskathodenstrahlen noch weiter zu sprechen kommen.

Für die Erklärung der Kathodenerscheinungen bei den scheinbar kontinuierlichen und nachweisbar diskontinuierlichen Entladungen vom Standpunkt der Ionentheorie gilt nach dem Vorhergehenden das auf Seite 55 Ausgeführte. Es ist dazu nur noch zu bemerken, daß vom Standpunkt der Ionentheorie die

[1]) E. Wiedemann, Wied. Ann. Bd. 10, S. 222. 1880.

Ionisierungsspannung zuerst für die negativen Elektrizitätsträger (Elektronen) erreicht wird[1]). Es wird daher in der Kapillare die Entladung auf der Seite der Striktionsanode einsetzen. Daher wird hier der Spannungsabfall groß sein, während in den übrigen Teilen der Kapillare gegen die Striktionskathode hin der Gradient viel kleiner sein wird, da durch die Geschwindigkeit, die die Elektronen unter dem Einfluß des starken Spannungsabfalls in den vorhergehenden Röhrenteilen erlangen, die Ionisation eine beträchtliche sein wird. Die Potentialmessungen stimmen in der Tat mit der von der Theorie geforderten Potentialverteilung überein.

Mit den Kathodenerscheinungen bei tiefen Drucken hängt auch die Ventilwirkung zusammen, die auftritt, wenn die Verengerung die Form eines Trichters hat. Bei den kontinuierlichen Entladungen tritt eine Ventilwirkung nicht auf, wie die Versuche von E. Wiedemann und G. C. Schmidt[2]) gezeigt haben. Dies ist nach den Potentialmessungen des 2. Abschnittes auch nicht zu erwarten. Dagegen muß bei den diskontinuierlichen Entladungen eine Ventilwirkung auftreten. Denn nach den vorhergehenden Messungen tritt bei den diskontinuierlichen Entladungen die Potentialsteigerung an der Striktionsanode um so stärker hervor, je größer die Änderung des Querschnitts ist. Ist also die Spitze der Kathode zugekehrt, so muß die Potentialsteigerung an der Striktionsanode wegen des engen Querschnitts besonders groß sein; im anderen Falle wird dagegen die Potentialsteigerung klein sein infolge des weiten Querschnittes an der Striktionsanode. Der Teil der Röhre gegen die Striktionskathode hin wird bei dem Entladungsvorgang eine geringere Rolle spielen, da der Potentialabfall in ihm durch den stärkeren Potentialabfall in den vorhergehenden Röhrenteilen herabgesetzt wird. Die kinetische Energie, die der Elektrizität in der Nähe der Striktionsanode erteilt wird, wird hier dazu verwendet, den Gradienten herabzusetzen, ebenso wie der kleine Gradient im Glimmlicht bedingt wird durch den starken Potentialabfall an der Kathode.

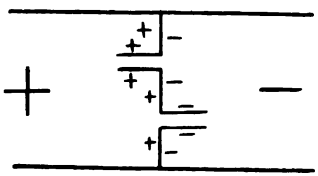
Eine Ventilwirkung ergibt sich somit schon auf Grund der

---

[1]) J. Stark, Die Elektrizität in Gasen. Leipzig 1902, S. 56.

[2]) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, a. a. O., S. 334.

Potentialsteigerung an der Striktionsanode. Diese tritt jedoch noch viel stärker hervor, wenn Röhren von der Form Figur 4*b* verwendet werden. Der Grund dafür ist in den Kapazitätsverhältnissen zu suchen, durch die also die Ventilwirkung mit bedingt ist. J. Stark[1]) hat bereits darauf hingewiesen, daß infolge der Wandladungen einem diskontinuierlichen Strom eine Trichterröhre den Stromdurchgang leichter gestattet, wenn die Trichterspitze der Anode zugekehrt ist. Die Figur 12 läßt leicht erkennen, daß der Durchgang der Entladung in einem Sinne durch die Wandladung begünstigt, im anderen erschwert wird. Dies ist jedoch nur der Fall, so lange man annimmt, daß die Ionisierungsspannung für die negativen Elektrizitätsträger kleiner ist als für die positiven.



Figur 12.

Die Ventilwirkungen, wie sie speziell durch Wandladungen veranlaßt werden, sind auch der Grund, warum im vorhergehenden eingekittete Röhren nur selten verwendet werden konnten. Nimmt man z. B. ein Rohr von der Form Figur 4*b*, so ist es bei den tiefen Drucken viel schwerer, eine Entladung mit der Batterie durch das Rohr zu bekommen, als wenn die engen und weiten Röhrenteile wie in Figur 4*a* und *c* aneinander geschmolzen sind. Auf der Seite der Striktionskathode kann ein längerer Teil der Kapillare in das Rohr hineinragen, ohne daß dadurch das Einsetzen der Entladung erschwert wird. Wir werden von diesem Umstand in den folgenden Abschnitten Gebrauch machen.

d) Resultate.

1. Bei dem Übergang von der unempfindlichen zu der empfindlichen Entladungsform ändert sich das Potentialgefälle in der positiven Säule sprungweise.

---

[1]) J. Stark, a. a. O., S. 149.

2. Bei einer Röhre von der Form der Geißlerschen Röhren nimmt bei der empfindlichen Entladungsform der Gradient längs der engen Röhre von der Striktionsanode nach der Striktionskathode stark ab.

3. Der Potentialverlauf in dem engen Röhrenteil ändert sich bei diesen Röhren bei der empfindlichen Entladungsform stark mit der Änderung des Kathodenfalls.

4. Bei Röhren ohne Querschnittsänderung ändert sich der Gradient nicht wesentlich, wenn der Querschnitt groß ist. Bei Röhren von kleinem Querschnitt bleibt der Gradient in der Richtung des negativen Stromes zunächst konstant und nimmt dann gegen die Anode hin zu.

5. Die beiden Grenzstromstärken, für die a) die unempfindliche Entladungsform überhaupt nicht auftritt, b) die Entladungsform stets die unempfindliche ist, werden mit abnehmenden Druck stets größer.

6. Aus den Potentialmessungen und den kalorimetrischen Messungen von E. Wiedemann läßt sich entnehmen, daß mit abnehmendem Druck das Verhältnis der Gradienten in den engen und weiten Röhrenteilen auch bei der empfindlichen Entladungsform stark wächst.

7. Die Ventilwirkung erklärt sich aus den Potentialmessungen. Es spielen dabei die Kapazitätsverhältnisse des Rohres eine Rolle.

4. Der anormale Anodenfall.

Bei einigen gelegentlichen Bestimmungen des Potentialabfalles zwischen der Sonde IV und der Anode fiel mir auf, daß der Anodenfall in einigen Fällen einen sehr beträchtlichen Wert hatte. So ergaben sich z. B. bei der Röhre II für die den Tabellen 12 und 23 entsprechenden Messungsreihen für den Spannungsabfall zwischen der Sonde IV und der Anode (Messingdraht) die folgenden Werte:

i	0,15	0,40	0,60	0,75	1,05	1,50	2,05	3,00	4,00	7,00
(IV A)	123	120	117,5	113	125,5	113	123,5	113	122	123.

Von dem Potentialabfall (IV A) fallen ca. 10 bis 15 Volt auf die positive Säule, es bleiben somit für den Anodenfall ca. 100 Volt. In einigen anderen Fällen wurde der Anodenfall noch höher gefunden. Sehr häufig wurde der hohe Anoden-

fall beobachtet, wenn ein mit CaO bedeckter Platindraht als Anode diente. Die für den Anodenfall beobachteten Werte weichen hier bei derselben Anode mitunter stark voneinander ab. Die Änderungen des Anodenfalls mit Druck und Stromstärke gestalteten sich sehr unregelmäßig. Die Anodenschicht saß bald an dieser, bald an jener Stelle des Platindrahtes, in den meisten Fällen aber an einem der Zuleitungsdrähte (Messing), eventuell an der Lötstelle (Silber). War die Zuleitung von isolierenden Glasröhren umgeben, so zwängte sich die Anodenschicht häufig in die Glasröhre hinein. Wurde die Anode geglüht, so sank der Anodenfall, wenn er anormal hoch war, beträchtlich, während bei einem normalen Anodenfall in Übereinstimmung mit den Versuchen von A. Wehnelt[1]) die Herabsetzung der Potentialdifferenz nicht so stark hervortrat. Saß die Anodenschicht am Messingdraht, so rückte sie beim Glühen an den glühenden Platindraht. Bei einem Anodenfall, bei dem die Anodenschicht am Silber der Lötstelle saß, wurde eine momentane Steigerung des Anodenfalls durch das Glühen der Anode beobachtet. Die Anodenschicht rückte dabei an den glühenden Platindraht, kehrte jedoch dann sofort wieder an ihren ursprünglichen Platz zurück, und das Anodengefälle erlangte dabei den ursprünglichen Wert wieder.

Es war nicht Absicht bei dieser Arbeit, genauere Messungen über den Anodenfall durchzuführen, es schien jedoch von Interesse, den Grund dieses hohen Potentialabfalles zu untersuchen, zumal dieser hohe Anodenfall im folgenden zur Bestimmung des Verhältnisses ε/μ dienen sollte.

Nach den Versuchen von C. A. Skinner[2]) liegt der Anodenfall für verschiedene Metalle zwischen 18 und 45 Volt. Er nimmt ab mit abnehmendem Druck, er müßte somit bei den tiefen Drucken, bei denen der anormale Anodenfall beobachtet wurde, kleiner sein, als den obigen Angaben entspricht, da diese sich auf höhere Drucke beziehen.

Der hohe Anodenfall konnte durch folgende Umstände bedingt sein:

---

[1]) A. Wehnelt, Ann. d. Phys. Bd. 14, S. 425. 1904.

[2]) C. A. Skinner, Inauguraldissertation. Berlin 1899 u. Wied. Ann. Bd. 68, S. 752. 1899.

1. Durch die Lage der Anode. E. Wiedemann[1]) hat gefunden, daß der Anodenfall sehr hoch steigt, wenn die Anode in den dunklen Raum eintritt. Da jedoch bei den vorhergehenden Versuchen die Anode stets in der positiven Säule lag, so mußte es von vornherein wahrscheinlich erscheinen, daß die Lage der Anode keinen wesentlichen Einfluß haben würde.

2. Durch lokale Unstetigkeiten an der Anode. Die Versuche haben gezeigt, daß beim Übergang zu der empfindlichen Entladungsform das Gesamtpotential stark steigt. Nach früheren Angaben[2]) sind an der Anode lokale Unstetigkeiten möglich, die sich dem Nachweis mit dem Telephon entziehen. Es kann nun der Fall eintreten, daß solche lokale Diskontinuitäten auch mit dem rotierenden Spiegel nicht nachgewiesen werden können, und durch diese lokalen Unstetigkeiten kann der anormal hohe Anodenfall bedingt sein.

3. Durch die Unreinheit der Anode. Aus den Versuchen von C. A. Skinner[3]) ergab sich, daß die Reinheit der Anode auf den Anodenfall von großem Einfluß ist, und daß unter Umständen der Anodenfall durch letztere bis auf das Doppelte steigt. Es tritt selbst bei reinen Oberflächen nach längerem Stromdurchgang ein Überzug auf, und infolgedessen steigt der Anodenfall, wenn längere Zeit Strom durch die Röhre geht. Die Versuche von Skinner haben jedoch nie so hohe Werte für den Anodenfall ergeben, wie sie von mir mehrfach beobachtet wurden.

Einige Versuche über die Änderung des Anodenfalls mit dem Abstand der Anode von der Striktionskathode ergeben, daß der Anodenfall auch bei Röhren mit Verengerungen im Querschnitt vollständig unabhängig ist von der Lage der Anode, so lange diese nicht in das Striktionsglimmlicht eintritt. In diesem Falle sinkt der Anodenfall etwas. Die Versuche wurden in der Weise durchgeführt, daß die Anode in der Röhre durch einen Barometerabschluß verschiebbar gemacht wurde[4]), ähnlich wie bei den bolometrischen Messungen

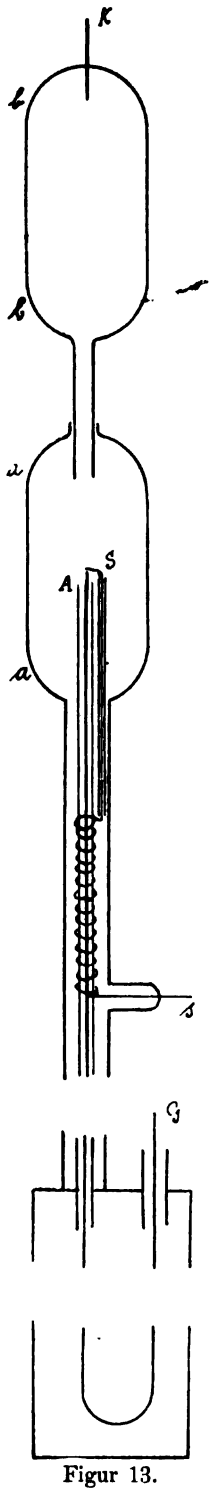
---

[1]) E. Wiedemann, Wied. Ann. Bd. 20, S. 767. 1883 und Bd. 63, S. 242. 1897. — Vergl. auch C. A. Mebius, Wied. Ann. Bd. 59, S. 695. 1896.

[2]) s. S. 26.

[3]) C. A. Skinner, a. a. O.

[4]) E. Wiedemann, Wied. Ann. Bd. 20, S. 767. 1883.



Figur 13.

von R. W. Wood[1]). Eine Skizze der verwandten Röhre gibt Figur 13. Der Aluminiumdraht, der als Anode A diente, war bis auf 2 mm mit einem Glasrohr umgeben. Um den Anodenfall zu messen, wurde eine Sonde S eingeführt. Der obere Teil der Zuleitung zu der Sonde S war ebenfalls mit einem Glasrohr umgeben, das mit dem die Anode umhüllenden Glasrohr starr verbunden war. Der untere Teil der Zuleitung bestand aus einer Spirale, die um das isolierende Glasrohr der Anode gewickelt war, und endigte in dem seitlichen Ansatzrohr s. Die Spirale ermöglichte, daß das ganze System durch Heben und Senken von G längs der ganzen Röhre a a verschoben werden konnte.

Um die Abhängigkeit des Anodenfalles von etwa vorhandenen lokalen Diskontinuitäten zu untersuchen, wurden einige Beobachtungen über den Einfluß von Diskontinuitäten auf den Anodenfall ausgeführt. Tabelle 29 gibt einige Beobachtungen für einen anormalen Anodenfall. Der Druck war $p = 0{,}1$ mm Hg. Einige Beobachtungen bei einem normalen Anodenfall bei einem Druck von 0,11 mm Hg gibt Tabelle 30.

Die Stetigkeit und Unstetigkeit der Entladung hat somit keinen Einfluß auf die Höhe des Anodenfalles. Es kann somit der Anodenfall auch nicht von lokalen Diskontinuitäten herrühren.

Es bleibt daher nur noch die Möglichkeit, daß das hohe Anodenpotential von der Unreinheit der Anode herrührt, und dafür spricht auch, daß alle Elektroden, bei denen der anormale Anodenfall auftrat, lange Zeit als Anoden in Entladungsröhren gedient hatten. Bei einer solchen Elektrode aus Messing wurde ein Anodenfall von 89 Volt beobachtet. Nachdem die Elektrode mit

[1]) R. W. Wood, Wied. Ann. Bd. 59, S. 238. 1896.

Tabelle 29.

i	Anodenfall	Form der Entladung
3,00	103	unempfindlich — kontinuierlich.
3,00	102	unempfindlich — Telephon: schwaches Geräusch — Rotierender Spiegel: kontinuierlich bis auf Anode. An dieser starke Intensitätsschwankungen.
0,65	116	empfindlich — diskontinuierlich.
2,00	100	unempfindlich — kontinuierlich.
0,50	118	empfindlich — diskontinuierlich.

Tabelle 30.

i	Anodenfall	Form der Entladung
2,0	38	unempfindlich — kontinuierlich.
2,0	39	unempfindlich — diskontinuierlich.
0,5	38	empfindlich — diskontinuierlich.

Schmirgelpapier gereinigt war, betrug der Anodenfall noch 29 Volt. Es wäre nun noch zu ermitteln, warum bei den tiefen Drucken bei meinen Versuchen ein so sehr viel höherer Anodenfall beobachtet wurde als bei den Versuchen von C. A. Skinner. Dieser gibt an, daß bei langem Stromdurchgang ein Überzug auf der Anode zu beobachten war. Dieser Überzug scheint mir auf den Einfluß der einströmenden negativen Elektrizität zurückzuführen zu sein, also auf die chemische Wirkung von Kathodenstrahlen, deren Auftreten durch den Anodenfall bedingt ist. Da bei abnehmendem Druck die Kathodenerscheinungen bei gleichem Potentialabfall deutlicher hervortreten, so ist anzunehmen, daß diese Wirkung mit abnehmendem Druck stärker wird. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß bei meinen Versuchen Sauerstoff, eventuell auch Wasserstoff in der Röhre vorhanden war, und dadurch können die Beobachtungsresultate mit bedingt sein. Welcher Art diese chemische Wirkung ist, läßt sich nicht ohne weiteres sagen, da die Kathodenstrahlen chemische Wirkungen verschiedenster Art hervorrufen.

Für die Erklärung des hohen Anodenfalles aus einer chemischen Einwirkung der Kathodenstrahlen spricht auch die

Beobachtung, daß ein verhältnismäßig rascher Übergang des normalen Anodenfalles in den anormalen beobachtet wurde, als die Anode sich längere Zeit im Striktionsglimmlicht befand.

Das Anodenlicht sitzt immer an der Stelle der Anode, für die der Anodenfall den kleinsten Wert hat. Dies zeigen die Versuche von E. Goldstein[1]) mit einer Elektrode, die halb aus Aluminium, halb aus Silber bestand. In der verschiedenen Reinheit verschiedener Stellen der Anode resp. in der chemischen Veränderung einzelner Teile durch den Stromdurchgang ist auch der Grund für das Wandern des Anodenlichts zu suchen.

Bei den oben angeführten Beobachtungen sitzt das Anodenlicht an dem Platindraht mit CaO, so lange an einigen Stellen der blanke Draht freiliegt, bis an diesen Metallflächen durch den Stromdurchgang der Anodenfall wächst, dann zwängt sich die Anodenschicht in die isolierende Glasröhre hinein und sitzt an dem Messingdraht resp. an dem Silber der Lötstelle.

Die Form der Anode, wie sie bei den Versuchen dadurch bedingt war, daß dieselbe Elektrode auch zeitweise als glühende Kathode diente, begünstigt den Eintritt des anormalen Anodenfalles. Wurde ein Messingdraht mit reiner Oberfläche mit einer isolierenden Glasröhre umgeben, so daß die Wand des Glasrohres 1 mm über den Messingdraht hinausragte, so trat schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit ein anormaler Anodenfall auf. Es hat dies seinen Grund einmal darin, daß die Oberfläche der Anode klein ist und daher rasch mit einem Überzug bedeckt wird, andererseits wurde aber hier der Anodenfall von vornherein höher gefunden und je höher der Anodenfall, um so rascher wird die chemische Veränderung der Oberfläche sein. Wurde die umhüllende Röhre entfernt, so nahm der Anodenfall wieder seinen ursprünglichen Wert an. Es scheint mir zweifelhaft, ob die Erhöhung der Potentialdifferenz zwischen IV A (ca. 20 Volt) bei reiner Oberfläche allein der Erhöhung des Gradienten auf der Strecke von 1 mm zuzuschreiben ist; sie ist wohl zum größeren Teil durch eine Erhöhung des Anodenfalles durch die Einschnürung des Anodenlichts bedingt. Weitere Versuche wurden über diese Erscheinung nicht angestellt. Wächst der Anodenfall durch eine Einschnürung, so erklärt es sich auch,

[1]) E. Goldstein, Verh. d. phys. Ges. Bd. 11, S. 75. 1892.

warum C. A. Skinner[1]) bei einer einfach mit Schmirgelpapier gereinigten Fläche höhere Anodenfälle beobachtete als bei einer sorgfältig polierten Oberfläche (bei einer Platinplatte bei 1 mm Druck 35 Volt gegen 27 Volt). Der große Unterschied rauher und polierter Oberflächen würde dann dadurch mit bedingt sein, daß das Anodenlicht vorzugsweise in den Vertiefungen sitzt, deren Oberfläche reiner ist. Durch die Einschnürung des Anodenlichts durch die benachbarten Teile steigt der Anodenfall.

Resultate:

1. Der Anodenfall in einer Röhre mit Verengerungen in der positiven Säule ist unabhängig von der Lage der Anode, solange diese nicht im Striktionsglimmlicht liegt.

2. Der Anodenfall ändert sich nicht wesentlich beim Übergang von kontinuierlichen zu diskontinuierlichen Entladungen.

3. Der anormal hohe Anodenfall ist durch die Unreinheit der Anode bedingt.

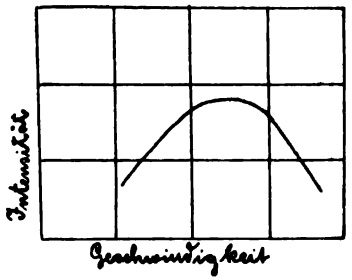
4. Der Überzug der Anode ist auf eine chemische Wirkung von Kathodenstrahlen zurückzuführen, die unter dem Einfluß des Anodenfalles im Gase entstehen.

5. Magnetische Ablenkung von Striktionskathodenstrahlen.

Nach den Potentialmessungen der vorhergehenden Abschnitte verdanken die Kathodenstrahlen, die bei einer Verengerung des Querschnitts auftreten, ihre Starrheit nicht einem Potentialabfall an einer bestimmten Stelle, sondern je nach der Entladungsform und der dadurch bedingten Potentialverteilung nehmen die Strahlen aus größeren oder kleineren Tiefen des Entladungsrohres ihren Ursprung. Es kann somit zur Bestimmung des Verhältnisses ε/μ eine Potentialmessung nicht verwandt werden. Es könnte zunächst scheinen, daß auch die magnetische Ablenkung zu keinem Ziele führen werde. Da die Strahlen aus verschiedenen Tiefen der Röhre kommen, so werden sie bei der magnetischen Ablenkung zu einem Spektrum ausgebreitet. Das magnetische Spektrum ist jedoch im allgemeinen nicht sehr breit. Die Strahlen kleiner Geschwindigkeiten sind im Glimmlicht

[1]) C. A. Skinner, a. a. O. (Dissertation, S. 11).

vertreten. Aus der Ablenkung des Glimmlichts läßt sich die Geschwindigkeit der in ihm vertretenen Strahlen infolge der diffusen Ausbreitung nicht bestimmen. Betrachten wir das Strahlenbündel, das sich schärfer gegen das Glimmlicht abhebt, so ist nach der Helligkeitsverteilung im abgelenkten Strahlenbündel die Geschwindigkeitsverteilung im Spektrum ungefähr von der Form der Figur 14.



Figur 14.

Es besitzen somit gewisse Strahlen mittlerer Geschwindigkeit ein Maximum der Intensität.

Die Erscheinung dürfte durch folgenden Umstand bedingt sein. Wird ein magnetisches Feld erzeugt, so treten die Strahlen nicht mehr axial aus der Kapillare aus, was vorher für die starreren Strahlen angenähert der Fall war, sondern die Strahlen treten unter einem Winkel aus, der je nach der Stelle, an der die Strahlen ihren Ursprung nehmen, verschieden ist. Es werden daher Strahlen, die aus großen und kleinen Tiefen der Kapillare kommen, bevor sie in die weite Röhre gelangen und sich hier frei ausbreiten können, die Wand der Kapillare treffen und hier diffus reflektiert werden[1]). Die unter Umständen mehrfach reflektierten Strahlen werden aus dem Rohr unter allen möglichen Winkeln austreten und deshalb wohl im wesentlichen nur zur Vermehrung der Glimmlichtserscheinungen dienen. Das abgelenkte Kathoden-

[1]) Daß die Wand tatsächlich von Kathodenstrahlen getroffen wird, zeigte die Erscheinung, daß das Glas am Ende der Kapillare stark angegriffen wird, wenn eine größere Reihe von magnetischen Ablenkungen mit dem Rohr durchgeführt wurde. Es trat eine starke Braunfärbung des Gases auf.

strahlenbündel besteht daher nur aus Strahlen, die aus einem bestimmten Bereich der Kapillare kommen. Dieser Bereich wird von der Stärke des Magnetfeldes (selbstverständlich auch von der Verteilung des Magnetfeldes), einerseits von der Potentialverteilung und der Größe der Öffnung andererseits abhängen. Nun ändert sich aber der Gradient unter dem Einfluß eines transversalen Magnetfelds ziemlich stark[1]), und dadurch werden die Erscheinungen noch wesentlich kompliziert.

Im folgenden sollen einige Messungsreihen mitgeteilt werden, die sich sowohl auf die unempfindliche als auch auf die empfindliche Entladungsform beziehen. Aus der magnetischen Ablenkung läßt sich die Geschwindigkeit bestimmen, resp. der Potentialabfall, dem die Strahlen ihre Starrheit verdanken, wenn der Wert von ε/μ bekannt ist. Wir setzen daher zunächst ε/μ als bekannt voraus, und zwar nehmen wir den Wert $\varepsilon/\mu = 1{,}68 \cdot 10^7$, der für die Kathodenstrahlen an der Anode im folgenden bestimmt wird. Wir wählen diesen Wert, da die Fehlerquellen bei seiner Bestimmung die kleinsten sind. In der Tat kommt dieser Wert den von W. Kaufmann[2]) und S. Simon[3]) gefundenen Werten, die als die genauesten gelten, am nächsten.

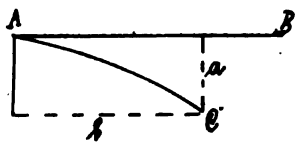
Über die Erzeugung des magnetischen Feldes und die Ausmessungen desselben finden sich die näheren Angaben im IV. Teil im 1. Abschnitt. Das magnetische Feld konnte bei den folgenden Messungen als konstant angesehen werden, da die abgelenkten Strahlen längs ihrer ganzen Ausdehnung sich im zentralen Magnetfeld der Spulen befanden. Die Störungen, die dadurch bedingt waren, daß die Strahlen nicht axial austreten, wurden bei den folgenden Messungen nicht in Rechnung gezogen, da einerseits nach den obigen Ausführungen die Bestimmung des Winkels, unter dem die Strahlen maximaler Helligkeit austreten, sich sehr kompliziert gestalten würde, andererseits aber die Bestimmung der zur Berechnung nötigen Größen mit so vielen Fehlerquellen verbunden ist, daß sich eine Berechnung des Winkels nicht verlohnt.

Da es sich bei den folgenden Messungen nur darum handeln kann, die Größenordnung der Geschwindigkeit der Strahlen zu

[1]) H. Schwienhorst, a. a. O., S. 35 ff.
[2]) W. Kaufmann, Wied. Ann. Bd. 65, S. 431. 1898.
[3]) S. Simon, Wied. Ann. Bd. 69, S. 589. 1899.

bestimmen, so muß die magnetische Ablenkung besonders geeignet erscheinen, da das Maximum der Intensität gerade auf die Strahlen mittlerer Geschwindigkeit fällt. Wir müssen jedoch stets im Auge behalten, daß die im folgenden mitgeteilten Zahlen nur die Größenordnung geben sollen.

Die Bestimmung des Krümmungsradius wurde in der Weise durchgeführt, daß die Größen a und b in Figur 15 bestimmt wurden, wenn $A\,B$ die Bahn des Kathodenstrahls ohne Magnetfeld und $A\,C$ die Bahn unter dem Einfluß des Magnetfelds darstellt. Bei den folgenden Messungen blieb a konstant und b wurde für verschiedene Feldstärken bestimmt, und der Krümmungsradius (r) aus a und b berechnet.



Figur 15.

Für die Geschwindigkeit der Strahlen ergibt sich aus Gl. (2) auf S. 121.

$$\mathfrak{v} = \frac{\varepsilon}{\mu} r \mathfrak{H} = \frac{\varepsilon}{\mu} H_0 (r J) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

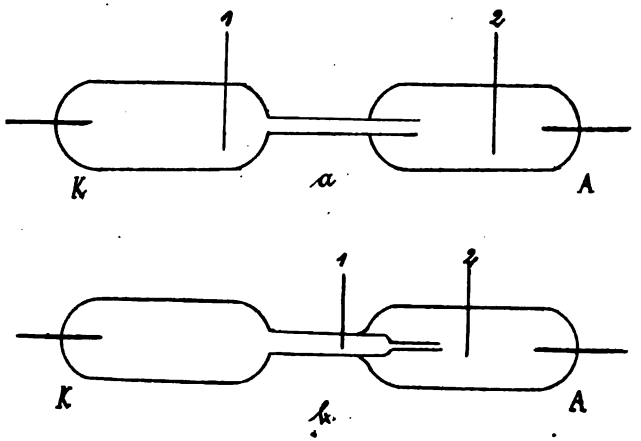
wo H_0 die Feldstärke für die Magnetisierungsstromstärke von 1 Amp. und J die Magnetisierungsstromstärke ist. Für den Potentialabfall X, dem die Strahlen ihre Geschwindigkeit verdanken, ergibt sich aus Gl. (1) und (2) S. 121.

$$X = \tfrac{1}{2} \frac{\varepsilon}{\mu} H_0^2 (r J)^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

a) Magnetische Ablenkung der weichen Strahlen bei der kontinuierlichen unempfindlichen Entladungsform.

Zur Bestimmung der Ablenkung bei den sehr weichen Strahlen der kontinuierlichen Entladungsform, wurde eine Röhre von der Form Figur 16a verwandt. Die Länge der Kapillare, deren Durchmesser 0,3 cm war, betrug 14 cm. Der Abstand der Sonden war 23,5 cm. Die Versuche beziehen sich auf einen Druck von 0,09 mm Hg und eine Stromstärke $i = 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ Amp. Der Spannungsabfall zwischen den Sonden war $V_{12} = 280$ Volt.

Davon werden nach den Potentialmessungen mit Röhre I S. 47 (bei 0,08 mm Hg und $i = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp.) ungefähr 40 Volt auf das weite Rohr fallen, und für die Kapillare ergibt sich somit ein Gradient von ca. 17 Volt/cm in guter Übereinstimmung mit den früheren Potentialmessungen.



Figur 16.

Tabelle 31.

J	r	Jr	g	X (Volt)
0,7	0,89	0,62	$0{,}015 \cdot 10^{10}$	7,0
1,4	0,50	0,70	0,017	8,9
2,3	0,34	0,78	0,019	11,1

Die Tabelle 31 enthält für einige Magnetisierungsstromstärken J die zugehörigen Krümmungsradien r im Magnetfeld und die aus diesen Größen nach (1) und (2) berechneten Werte von g und X. Die Feldstärke für $J = 1{,}0$ Amp. wurde zu 14,7 Gauß bestimmt.

Die Tabelle zeigt zunächst, daß die Geschwindigkeit der Strahlen wächst mit wachsendem Magnetfeld. Der Grund liegt in der Steigerung des Gradienten durch das transversale Magnetfeld, die zum Teil durch eine Querschnittsänderung durch die Ablenkung der positiven Säule bedingt ist.

Vergleicht man die Werte des Gradienten im 2. Abschnitt dieses Teiles mit der Potentialdifferenz, der die Strahlen ihre

Starrheit verdanken, so findet man in Übereinstimmung mit früheren Resultaten, daß die Kathodenerscheinungen an der Striktionskathode lediglich durch den hohen Gradienten im engen Rohre bedingt sind.

b) Magnetische Ablenkung härterer Strahlen bei der empfindlichen Entladungsform.

Zu der Bestimmung der magnetischen Ablenkung bei der empfindlichen Entladungsform dienten Röhren von der Form Figur 15*b*. Der enge Röhrenteil bestand aus zwei Röhren, von denen die eine einen Durchmesser von ca. 1 cm, die andere einen Durchmesser von 0,06 cm hatte. Die Länge der letzteren war 2,7 cm. Die in Tabelle 32 mitgeteilten Versuche beziehen sich auf eine Stromstärke von $i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ Amp. Die Bezeichnungen sind die üblichen. Die verschiedenen Entladungsformen bei demselben Druck konnten durch Änderung des Glühzustandes der Kathode erhalten werden.

Tabelle 32.

p	V_{12}	J	r	Jr	g	X (Volt)	Bemerkungen
0,10	1300	0,5	2,35	1,18	$0{,}032 \cdot 10^{10}$	30	Entladung im rotierenden Spiegel schwach diskontinuierlich.
		1,0	1,47	1,47	0,040	47	
		1,5	1,10	1,65	0,045	59	
		2,0	0,80	1,60	0,043	55	
0,10	1500	0,5	3,42	1,70	0,046	62	Entladung im rotierenden Spiegel kontinuierlich, überlagert von starken Einzelentladungen.
		1,0	1,66	1,66	0,045	59	
		1,5	1,10	1,65	0,045	58	
		0,5	6,92*	3,46	0,093	260	
		1,0	2,62*	2,62	0,071	150	
		1,5	— *	—	—	—	Bei J = 1,5 treten keine Einzelentladungen mehr auf.
0,04	2000	0,5	5,42	2,71	0,073	160	Entladung im rotierenden Spiegel schwach diskontinuierlich, überlagert von starken Einzelentladungen.
		1,0	2,10	2,10	0,057	95	
		1,5	1,30	1,95	0,053	82	
		0,5	— *	—	—	—	
		1,0	6,62*	6,62	0,178	940	Bei J = 0,5 sind die Strahlen der Einzelentladungen sehr starr und werden fast gar nicht abgelenkt.
		1,5	3,42*	5,13	0,138	570	
0,04	2000	1,0	2,10	2,10	0,057	95	Entladung im rotierenden Spiegel kontinuierlich.
		1,5	1,42	2,13	0,057	97	
		2,0	1,10	2,20	0,059	104	

Sieht man zunächst von der Änderung von X mit wachsendem Magnetfeld ab, so kann man aus den einzelnen Beobachtungsreihen folgendes über den Potentialabfall bei den verschiedenen Entladungsformen entnehmen: Beim Übergang von der scheinbar kontinuierlichen zu der schwach diskontinuierlichen Entladung ändert sich die Starrheit der Strahlen und damit der Potentialabfall, dem die Strahlen ihre Starrheit verdanken, nicht wesentlich. Geht man dagegen zu den stark diskontinuierlichen Entladungen über, wie sie durch stark leuchtende Einzelentladungen charakterisiert sind (in der Tabelle mit * bezeichnet), so tritt eine große Potentialsteigerung[1]) ein, die unter Umständen mehr als das Zehnfache des ursprünglichen Potentialabfalls betragen kann. Bei den stark diskontinuierlichen Entladungen bei $p = 0{,}04$ mm Hg war für die Magnetisierungsstromstärke $J = 0{,}5$ Amp. die Starrheit der Strahlen noch wesentlich größer. Der Potentialabfall, dem sie ihre Entstehung verdanken, betrug weit über 1000 Volt.

Betrachtet man die Änderung des Potentialabfalles bei Erregung des Magnetfeldes, so ergibt sich: Der Potentialabfall nimmt mit wachsender Intensität des Magnetfeldes bei der scheinbar kontinuierlichen und schwach diskontinuierlichen Entladung ebenso wie bei der kontinuierlichen Entladung zu, solange nicht stark diskontinuierliche Einzelentladungen auftreten. Ist das letztere der Fall, so nimmt die Starrheit der Strahlen, die den Einzelentladungen entsprechen, sehr stark ab, und die Einzelentladungen verschwinden für stärkere Magnetfelder eventuell vollständig. Die Starrheit der Strahlen, die der scheinbar kontinuierlichen oder schwach diskontinuierlichen Entladungsform entsprechen, nehmen ebenfalls, aber um sehr viel weniger ab.

Nach der Ionentheorie lassen sich diese Erscheinungen in folgender Weise deuten. Ist eine Entladung durch ein Rohr gegangen, so hat sie eine bestimmte Ionisierung hervorgerufen, die mit der Zeit abklingt. Wird ein Rohr von einer diskontinuierlichen Entladung durchsetzt, so wird das Entladungspotential von der Ionisierungsarbeit abhängen, die bei jeder

[1]) Vgl. hierzu S. 72.

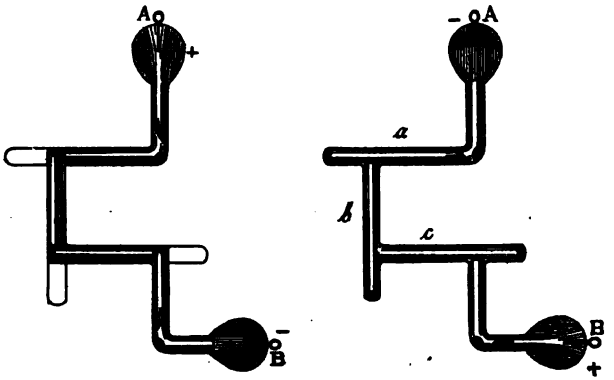
einzelnen Entladung geleistet werden muß. Diese ist um so größer, je größer die Pause zwischen zwei Entladungen ist, und hängt außerdem von der Intensität der Entladung ab. Daraus erklärt sich der starke Potentialabfall bei Einzelentladungen und der kleine Unterschied bei den scheinbar kontinuierlichen und schwach diskontinuierlichen Entladungen. Der starke Potentialabfall bei Einzelentladungen tritt auch auf, wenn aus irgend welchen Umständen Einzelentladungen von großer Intensität eine schwach diskontinuierliche oder scheinbar kontinuierliche Entladung durchsetzen, da die große Ionisierung, die für den Durchgang einer starken Entladung notwendig ist, durch die schwach diskontinuierliche Entladung nicht erzeugt wird.

Bei der Erregung des Magnetfeldes wird die Zahl der Einzelentladungen größer, und dadurch wird der Potentialabfall für dieselben herabgesetzt. Für die schwach diskontinuierlichen Entladungen wird durch das Auftreten von starken Einzelentladungen der Potentialabfall erhöht. Denn einmal wird die Elektrizitätsmenge, die bei jeder einzelnen Entladung übergeht, erniedrigt, damit nimmt die mittlere Stromstärke für diese Entladungsform ab, und der Pontentialabfall wird dadurch erhöht. Andererseits treten aber wohl starke Wandladungen auf, die den Stromdurchgang hemmen. Mit der Auflösung der starken Einzelentladungen in schwach diskontinuierliche Entladungen verschwinden die Bedingungen für die Potentialerhöhung, und daher nimmt auch für die schwach diskontinuierlichen Entladungen das Potential mit wachsender Feldstärke ab.

Für die stark diskontinuierlichen Entladungen sind im allgemeinen die Strahlen viel homogener als für die schwach diskontinuierlichen. Wurden durch eine Röhre, deren enger Röhrenteil dieselbe Form wie bei der Röhre in Figur 22 hatte, stark diskontinuierliche Entladungen geschickt, indem eine Funkenstrecke eingeschaltet wurde, so erschienen die Strahlen vollkommen homogen und riefen bei der magnetischen Ablenkung auf der Glaswand eine intensive Fluoreszenz hervor. Die Strahlen können an der Striktionskathode ihren Ursprung nicht nehmen, da die Farbe der Strahlen und die Farbe der positiven Säule in der Kapillare dieselbe ist, und bei einer so starken Potentialsteigerung an einer bestimmten Stelle eine intensivere Färbung hervortreten müßte, wie die Versuche über Sondenstörung

gezeigt haben. Es hatte sich somit bei den stark diskontinuierlichen Entladungen der ganze Potentialabfall auf die Anfangsstrecke der Kapillare bei der Striktionsanode konzentriert, an der nach den Potentialmessungen bei der scheinbar kontinuierlichen Entladungsform der Gradient den höchsten Wert hat.

Wird bei einem Entladungsrohr von der Form Figur 16 *b* der Heizstrom der glühenden Kathode plötzlich ausgeschaltet, während die Striktionskathodenstrahlen abgelenkt sind, so zeigt sich, daß während des Erkaltens der Kathode das Strahlenbündel eine Zeit lang homogen ist und bei kalter Kathode wieder ein Spektrum von der oben beschriebenen Intensitätsverteilung bildet. Es muß somit hier wiederum der gesamte Spannungsabfall in der Kapillare gegen die Striktionsanode hingerückt sein. Außer den Widerstandsverhältnissen (Ionisierung in der Gasstrecke) spielen hier jedenfalls wieder die Kapazitätsverhältnisse eine große Rolle.

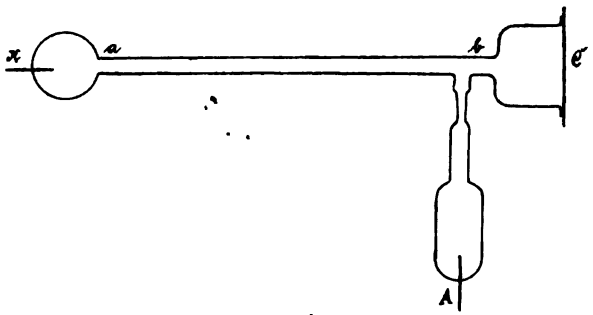


Figur 17.

Die starren Strahlen in der positiven Säule treten übrigens nicht nur bei Kapillaren, sondern auch bei weiteren Röhren auf. Dies zeigen Versuche von E. Goldstein. Die Versuchsanordnung zeigt Figur 17. In der positiven Säule entstehen hier starre Kathodenstrahlen, die Fluoreszenz hervorrufen. In c wird durch die vorhergehenden Teile der positiven Säule keine Ionisation geschaffen, da die Ionen vermöge ihrer Geschwindigkeit sich in der Richtung b weiter bewegen. Es muß daher die ganze Ionisierungsarbeit von dem Potentialabfall längs c geleistet werden, und dadurch ist eine Potentialsteigerung be-

dingt. Diesem starken Potentialabfall verdanken die Strahlen, die in der Fortsetzung von c auftreten, ihre Geschwindigkeit.

Auch bei den weiteren Röhren sind es speziell die den Einzelentladungen entsprechenden Strahlen, die starke Fluoreszenz hervorrufen. Dies zeigte ein Versuch mit einer Röhre von der Form Figur 18. Die Strecke a b des Entladungsrohres hatte einen Durchmesser von 0,6 cm und eine Länge von ca. 1,5 m. In dem Raume b C waren bei der magnetischen Ablenkung zwei gesonderte Kathodenstrahlenbündel zu beobachten. Das eine, das den schwach diskontinuierlichen Entladungen entsprach, zeigte ein Spektrum von der in Figur 14 angegebenen Intensi-



Figur 18.

tätsverteilung. Es wurde stark abgelenkt und rief keine Fluoreszenz des Glases hervor. Das zweite Strahlenbündel, als Lichtbündel kaum sichtbar, erschien vollkommen homogen und erregte die Glaswand zu starker Fluoreszenz. Da der Kathodenfall durch starkes Glühen der Kathode entfernt war, so kann die Starrheit dieser Strahlen nur dem Spannungsabfall der Einzelentladungen für die Strecke a b entsprechen.

c) Resultate.

1. Das magnetisch abgelenkte Striktionskathodenstrahlenbündel erscheint ziemlich homogen; es sind in ihm nur Strahlen mittlerer Geschwindigkeit vertreten.

2. Bei der kontinuierlichen Entladung wächst die Geschwindigkeit der Strahlen mit wachsendem Magnetfeld, da der Gradient durch das Magnetfeld erhöht wird.

3. Die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit der Striktionskathodenstrahlen bei kontinuierlichen Entladungen be-

stätigt die Resultate der Potentialmessungen, daß die Kathodenerscheinungen an der Striktionskathode durch den hohen Gradienten in dem engen Rohre bedingt sind.

4. Beim Übergang von der scheinbar kontinuierlichen zu der schwach diskontinuierlichen Entladung ändert sich die Starrheit der Strahlen und damit der Potentialabfall, dem die Strahlen ihre Starrheit verdanken, nicht wesentlich.

5. Beim Übergang zu den stark diskontinuierlichen Entladungen tritt bei tiefen Drucken eine starke Potentialsteigerung ein.

6. Die mittlere Geschwindigkeit der Striktionskathodenstrahlen wächst bei Erregung eines Magnetfeldes bei der scheinbar kontinuierlichen und schwach diskontinuierlichen Entladung, solange diese nicht von stark diskontinuierlichen Entladungen überlagert ist.

7. Durchsetzen stark diskontinuierliche Einzelentladungen die schwach diskontinuierliche oder scheinbar kontinuierliche Entladung, so nimmt mit wachsendem Magnetfeld die Starrheit der stark diskontinuierlichen Entladungen ab, da dieselben sich in eine größere Reihe von Einzelentladungen auflösen, und dadurch wird auch der Spannungsabfall für die schwach diskontinuierlichen Entladungen herabgesetzt.

8. Aus der Ionentheorie läßt sich das Verhalten der verschiedenen Entladungsformen im Magnetfeld erklären.

9. Die den stark diskontinuierlichen Entladungen entsprechenden Strahlen sind mitunter vollkommen homogen.

10. Starre Strahlen in der positiven Säule treten auch in weiteren Röhren auf.

III. Teil.

Untersuchungen über die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke in der positiven Säule.

E. Goldstein[1]) hat zuerst darauf hingewiesen, daß der Unterschied zwischen den Lichtgebilden an der Kathode und

[1]) E. Goldstein, Wied. Ann. Bd. 11, S. 832. 1880 und Bd. 12, S. 90 und 249. 1881.

den Lichtgebilden in der positiven Säule kein prinzipieller ist. Sind in beiden Fällen die Lichtgebilde vorwiegend durch die Elektronen bedingt, so müssen gewisse Eigenschaften des Kathodenfalls auch bei dem Gradienten auftreten. Im folgenden sollen einige Versuche über die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke mitgeteilt werden, die hauptsächlich von diesem Gesichtspunkte aus unternommen wurden, und zwar wurde die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke sowohl in der leuchtenden positiven Säule bei engen Röhren als auch in der dunklen positiven Säule bei sehr weiten Entladungsgefäßen bestimmt.

1. Die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke in der leuchtenden positiven Säule.

Eine Beziehung zwischen Gradient und Stromstärke in der positiven Säule bei der kontinuierlichen Entladung wurde zuerst von W. Hittorf[1]) aufgestellt. Er fand auf Grund seiner Versuche, die mit einem Rohr von 5,5 ccm Durchmesser angestellt wurden, den Gradienten unabhängig von der Stromstärke. Für die ungeschichtete leuchtende positive Säule hat A. Herz[2]) eine lineare Beziehung gefunden:

$$X = X_0 - \beta\,(i - i_0) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

wo β noch abhängig vom Druck und von der Weite der Röhre ist. Die Abhängigkeit vom Druck ist nur klein, so daß Herz für alle Drucke einen mittleren Wert von β annimmt. H. Schwienhorst[3]) hat dann gezeigt, daß die lineare Beziehung für enge Röhren nicht mehr gültig ist. Der Gradient läßt sich nach seinen Versuchen darstellen durch eine Formel:

$$X = \frac{23{,}5}{\sqrt{D}} + 25\,p - 4{,}5\,p\,\sqrt[4]{j} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

wo D der Durchmesser der Röhre und j die Stromdichte.

Das Versuchsintervall bei diesen Beobachtungen war beschränkt auf das Druckintervall, in dem die positive leuchtende Säule ungeschichtet auftritt. Die Schichtung tritt bei tieferen Drucken

[1]) W. Hittorf, Wied. Ann. Bd. 20, S. 705. 1883.
[2]) A. Herz, Wied. Ann. Bd. 54, S. 244. 1895.
[3]) H. Schwienhorst, a. a. O., S. 34.

auf, und zwar hängt der Eintritt der Schichtung außer vom Gasinhalt noch von dem Querschnitt und der Länge der Röhre ab. Die untere Grenze für die Beobachtungen in der ungeschichteten positiven Säule liegt bei ca. 1 mm. Nun zeigt es sich, daß im allgemeinen in weiten Röhren das positive Licht bis zu den tiefsten Drucken geschichtet ist. Dies tritt besonders bei Verwendung glühender Kathoden hervor. Werden keine glühenden Kathoden verwandt, so rückt bei den tiefen Drucken das Glimmlicht vor und drängt die positive Säule zurück. Bei engen Röhren verschwinden dagegen mit abnehmendem Druck die Schichten wieder und die positive Säule tritt uns als kontinuierliches leuchtendes Band entgegen. Für diesen Fall der ungeschichteten positiven Säule bei tiefen Drucken sollen nun im folgenden einige Beobachtungsreihen mitgeteilt werden, die die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke geben.

a) Bestimmung der Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke.

Bei den Potentialmessungen wurde schon gelegentlich auf die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke hingewiesen. Eine genauere Beziehung zwischen Gradient und Stromstärke läßt sich jedoch aus diesen Versuchen nicht ableiten, da die einzelnen Versuche meist nicht bei demselben Druck ausgeführt sind, und vor allem da die Zusammensetzung des Gases bei den einzelnen Versuchen aus den angegebenen Gründen verschieden sein mußte, weil zwischen den einzelnen Beobachtungen längere Zeit liegt. Die folgenden Messungen beschränken sich auf die unempfindliche kontinuierliche Entladung und auf Röhren von ca. 0,8 cm Durchmesser, da bei den Röhren mit 0,3 cm Durchmesser leicht Störungen durch Sonden auftreten. Der Gradient im engen Rohre ist bei diesen Versuchsbedingungen längs desselben ziemlich konstant; daher konnte der Spannungsabfall auf einer größeren Strecke bestimmt und aus diesem ein mittlerer Gradient berechnet werden. Die Versuchsfehler werden dadurch geringer. Die Messungsreihen wurden in der Weise vorgenommen, daß von den kleineren Stromstärken zu den größeren übergegangen wurde. Ging man umgekehrt von den größeren Stromstärken zu den kleineren über, so war der Gradient etwas kleiner, und es dauerte längere Zeit, bis der Elektrometeraus-

schlag sich innerhalb längerer Zeit nicht änderte. Wurde nach Einstellung der größten Stromstärke der Strom einige Zeit ausgeschaltet, so ergaben sich beim Übergang von den kleineren zu den größeren Stromstärken nur Abweichungen, die innerhalb unvermeidlicher Fehlergrenzen lagen.

Tabelle 33.

p	Gradient für die Stromstärke					
	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5
0,280	20,75	19,47	19,05	18,30	18,01	—
0,078	9,50	8,99	8,54	8,35	8,23	—
0,047	7,93	7,00	6,71	—	6,08	—
0,026	—	4,89	—	—	—	3,99

Tabelle 34.

p	Gradient für die Stromstärke						
	1,5	2,0	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5
0,110	11,20	—	10,09	9,65	9.28	—	—
0,052	—	7,97	7,66	7,13	6,83	6,58	—
0,050	—	7,78	7,32	6,87	6,53	6,33	—
0,046	—	7,31	7,05	6,53	6,23	6,04	—
0,043	—	7,33	6,99	6,49	6,23	5,97	—
0,040	—	6,99	6,65	6,14	5,87	5,66	—
0,024	—	—	—	4,98	4,63	4,41	4,22
0,015	—	—	—	4,72	4,41	4,22	4,11

Tabelle 35.

Stromstärke	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
Gradient	4,80	4,06	3,71	3,50	3,36	3,26	3,19
	4,78	4,04	3,67	3,46	3,32	—	—

Die Tabellen 33—35 geben einige Versuchsreihen, die mit den Röhren VII und VIII (S. 49) und mit der Röhre ohne Verengerung im Querschnitt (S. 67) angestellt wurden.

a) Versuche mit Röhre VII (Tabelle 33). Es wurde der Potentialabfall zwischen den Sonden (23) für die verschiedenen Stromstärken bestimmt. Im weiten Rohr war stets Schichtung vorhanden, im engen Rohr trat nur für $p = 0{,}28$ mm Hg Schichtung auf. Die Zahl der Schichten war für $i = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Ampère in diesem Falle 45 auf 24,2 cm, man kann daher einen

einen mittleren Gradienten aus der Potentialdifferenz zwischen (23) bestimmen. Streng genommen hat allerdings der so berechnete Gradient keinen Sinn, da ja in jeder einzelnen Schicht der positiven Säule der Gradient räumlich verschieden ist. War der Druck auf 0,122 mm Hg gesunken, so traten im engen Rohr erst bei $i = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ Ampère Schichten auf, die jedoch ziemlich verwaschen aussahen. Bei den tieferen Drucken trat innerhalb des Versuchsbereiches keine Schichtung mehr auf.

b) Versuche mit Röhre VIII (Tabelle 34). Die Bestimmung des Gradienten erfolgte wie oben. Bei den höchsten Stromstärken war mitunter eine schwache Andeutung von Schichtung vorhanden. Bei den tiefsten Drucken änderte sich der Gradient in dem engen Rohre bei den kleinen Stromstärken etwas stärker, sie wurden daher von der Beobachtung ausgeschlossen.

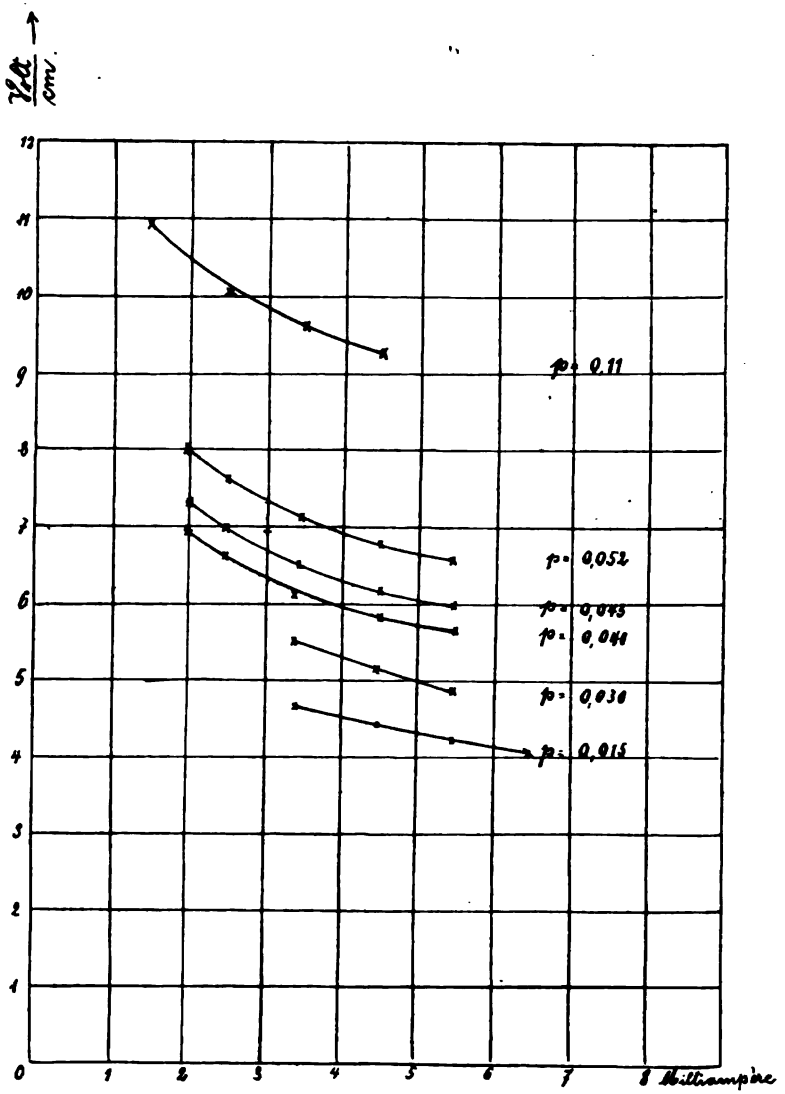
Die einzelnen Versuchsreihen wurden nicht in der oben angeführten Reihenfolge gemacht, sondern es wurde mehrmals frische Gasfüllung verwandt, um eine zu große Änderung durch den sich entwickelnden Wasserstoff zu verhindern, und um eine Kontrolle der beobachteten Werte zu erhalten.

c) Versuch mit der Röhre ohne Verengerung im Querschnitt. Die Bestimmung des Gradienten erfolgt wie bei a durch Potentialmessung zwischen den Sonden (25). Der Druck war $p = 0{,}015$ mm Hg. Die beiden Versuchsreihen wurden mit derselben Gasfüllung ausgeführt. Zwischen den beiden Reihen liegt ein Zeitraum von mehreren Stunden.

Die Beziehung zwischen Gradient und Stromstärke ist in Figur 19 für die in Tabelle 34 gegebenen Werte graphisch dargestellt. Als Abszissen sind die Stromstärken in Ampère 10^{-3}, als Ordinaten die Gradienten in Volt/cm aufgetragen. Die in Tabelle 33 und 35 gegebenen Werte würden Kurven von ähnlichem Charakter geben, mit Ausnahme von den Werten für $p =$ 0,28 mm Hg. Diese Werte liegen angenähert auf einer Geraden.

Die Kurven für die tiefen Drucke, wie sie in der Figur gegeben sind, zeigen deutlich die Abweichung von der linearen Beziehung. Die Kurve fällt anfangs steil ab und verflacht sich allmählich. Für große Stromstärken ist die Beziehung schließlich durch eine zur Abszissenachse parallele Gerade gegeben, d. h. der Gradient ändert sich nicht mehr mit der Stromstärke. Der steile Abfall für kleine Stromstärken würde noch deutlicher

hervortreten, wenn auch für kleinere Stromstärken der Gradient hätte bestimmt werden können. Bei den kleineren Stromstärken



Figur 19.

ging jedoch die Entladung in die empfindliche Entladungsform über. Der Gradient ändert sich dabei sprungweise.

b) Interpolationsformel für die Beziehung zwischen Gradient und Stromstärke bei tiefen Drucken.

Die Beziehung zwischen Gradient und Stromstärke läßt sich bei den tiefen Drucken durch die Formel (1) und (2) nicht wiedergeben. Es wurde daher nach einer neuen Interpolationsformel gesucht. Es zeigte sich, daß der Gradient in seiner Abhängigkeit von der Stromstärke sich darstellen ließ durch eine Funktion von der Form

$$\sqrt{X} = a + \frac{b}{\varphi(i)} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

$\varphi(i)$ kann bei den tiefen Drucken gleich $(1+i)$ gesetzt werden. Die dadurch erzielte Übereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Werten von X ist vollkommen befriedigend. Dies zeigt Tabelle 36, in der eine Zusammenstellung von beobachteten und berechneten Werten der Gradienten gegeben ist und unter Δ die Differenz der beiden Werte. Auch

Tabelle 36.

Röhre VII. $p=0{,}28$				Röhre VII. $p=0{,}078$				Röhre VII. $p=0{,}047$			
i	X beob.	X ber.	Δ	i	X beob.	X ber.	Δ	i	X beob.	X ber.	Δ
1,5	20,75	20,98	0,23	1,5	9,50	9,49	—0,01	1,5	7,93	7,95	0,02
2,5	19,47	19,53	0,06	2,5	8,99	8,94	—0,05	2,5	7,00	7,08	0,08
3,5	19,05	18,75	—0,30	3,5	8,54	8,59	0,05	3,5	6,71	6,61	—0,10
4,5	18,30	18,23	—0,07	4,5	8,35	8,41	0,06	5,5	6,08	6,10	0,02
5,5	18,01	17,89	—0,12	5,5	8,23	8,29	0,06				
Röhre VIII. $p=0{,}110$				Röhre VIII. $p=0{,}050$				Röhre VIII. $p=0{,}043$			
1,5	11,20	11,22	0,02	2,0	7,78	7,73	—0,05	2,0	7,33	7,35	0,02
2,5	10,09	10,18	0,09	2,5	7,32	7,35	0,03	2,5	6,99	6,97	—0,02
3,5	9,65	9,61	—0,04	3,5	6,87	6,87	—	3,5	6,49	6,50	0,01
4,5	9,28	9,24	—0,04	4,5	6,53	6,55	0,02	4,5	6,23	6,20	—0,03
				5,5	6,33	6,35	0,02	5,5	5,97	6,00	0,03

Röhre VIII. $p=0{,}024$				Röhre VIII. $p=0{,}015$			
i	X beob.	X ber.	Δ	i	X beob.	X ber.	Δ
3,5	4,98	5,02	0,04	3,5	4,72	4,71	—0,01
4,5	4,63	4,62	—0,01	4,5	4,41	4,45	0,04
5,5	4,41	4,41	—	5,5	4,22	4,24	0,02
6,5	4,22	4,21	—0,01	6,5	4,11	4,12	0,01

für die in der Tabelle nicht gegebenen Versuchsreihen war die Abweichung der beobachteten und berechneten Werte von derselben Größenordnung. Die der Berechnung zu grunde gelegten Konstanten a und b gibt Tabelle 37 und 38.

Tabelle 37.

p	a	b	$\frac{a}{\sqrt[3]{p}}$
0,110	2,77	1,46	5,78
0,052	2,36	1,38	6,32
0,050	2,30	1,44	6,24
0,046	2,26	1,34	6,31
0,043	2,22	1,48	6,34
0,040	2,16	1,44	6,32
0,024	1,78	2,06	6,17
0,015	1,83	1,52	7,42

Tabelle 38.

p	a	b	$\frac{a}{\sqrt[3]{p}}$
0,280	4,01	1,43	6,13
0,078	2,75	0,83	6,44
0,047	2,26	1,40	6,26
0,026	1,74	1,37	5,87

Betrachten wir die Konstanten a und b in Tabelle 37 und 38, so zeigt sich:

1. Die Konstante b in Gleichung (3) ist unabhängig vom Druck.

2. Die Konstante a nimmt ab mit abnehmendem Druck und zwar langsamer als dieser.

3. Der Wert $ap^{-\frac{1}{3}}$ ist nahezu konstant.

Der Querschnitt der beiden Röhren ist nahezu derselbe, denn die Durchmesser der Röhren sind 0,69 resp. 0,66 cm. Da die Werte der Konstanten für b und $ap^{-\frac{1}{3}}$ dieselben sind, und die eine Röhre ungefähr doppelt so lang ist als die andere, so sind die Konstanten unabhängig von der Länge.

Ziehen wir noch die Versuchsreihe mit der Röhre ohne Verengerung zum Vergleich heran, so ergibt sich, daß die Konstanten auch hier denselben Wert behalten. Aus den Werten der Tabelle 35 erhält man für die Konstanten der Gleichung (3) die Werte $a = 1{,}63$ und $b = 1{,}37$. Die Abweichung der beobachteten und berechneten Werte beträgt im Maximum 0,05 Volt/cm.

Da bei $p = 0{,}28$ mm Hg die Entladung geschichtet war, so ergibt sich ferner, daß die Konstante b sich nicht ändert beim Übergang von der geschichteten zur ungeschichteten Entladung, und

daß die Änderung von a mit dem Druck auch in diesem Falle stetig erfolgt[1]).

Es läßt sich somit für einen bestimmten Querschnitt bei tiefen Drucken der Gradient in der positiven Säule darstellen durch $\sqrt{X} = a + b/(1 + i)$, solange die normale Ausbildung der positiven Säule nicht durch die benachbarten Querschnitte verändert wird, wie dies z. B. an der Übergangsstelle von einem engen zu einem weiten Rohr für die negative Stromrichtung der Fall ist.

c) Beziehungen der Interpolationsformel für tiefe Drucke zu den Versuchen von A. Herz und H. Schwienhorst bei den hohen Drucken.

Versucht man die Interpolationsformel für die tiefen Drucke $\sqrt{X} = a + b/(1 + i)$ auf die Beobachtungen von A. Herz und H. Schwienhorst über die ungeschichtete positive Säule anzuwenden, so zeigt es sich, daß die Gradienten bei den hohen Drucken sich durch die Formel nicht mehr darstellen lassen. Die Konstante b nimmt mit wachsender Stromstärke zu, wenn man aus aufeinander folgenden Werten in Tabelle II bei Herz[2]) der Reihe nach die Konstanten b berechnet. Es könnte nun vollkommen zwecklos erscheinen, weitere Betrachtungen anzustellen. Dabei ist aber einmal zu berücksichtigen, daß bei der linearen Beziehung $X = X_0 - \beta\,(i - i_0)$ die Konstante β nicht absolut konstant ist, sondern sich ebenfalls ändert[3]), wenn man β aus aufeinander folgenden

[1]) Es erscheint wahrscheinlich, daß auch die ungeschichtete Entladung bei tiefen Drucken nichts anderes ist als eine geschichtete Entladung. Die Schichten im engen Rohre sind jedoch so verwaschen, daß sie nicht mehr zu unterscheiden sind und daher den Eindruck einer ungeschichteten positiven Säule machen. Die Entscheidung ließe sich durch Potentialmessungen treffen. Es müßten sich die Maxima und Minima, wie sie Graham beobachtet hat, mit abnehmendem Druck allmählich verflachen. Die Schwierigkeit der Potentialmessungen liegt in der geringen Ausdehnung der Schichten und in der kleinen Änderung des Potentials gegenüber der Größe der Versuchsfehler, die die Einführung von Sonden bei dem kleinen Querschnitt der Röhre mit sich bringen.

[2]) A. Herz, a. a. O. (Dissertation, S. 19—22).

[3]) Die Änderung ist noch größer, wenn größere Stromstärken in den Bereich der Untersuchung gezogen werden.

Werten der Stromstärken berechnet, wobei allerdings die Änderung von β in den meisten Fällen kleiner, in einigen aber auch größer ist als die von b. Außerdem lassen die im folgenden mitgeteilten Berechnungen es wahrscheinlich erscheinen, daß durch die allgemeinere Beziehung

$$\sqrt{X} = a + \frac{b}{\varphi(i)}$$

sich auch die Herzschen sowie die Schwienhorstschen Beobachtungen wiedergeben lassen, wenn für $\varphi(i)$ eine andere Funktion gesetzt wird. Da jedoch bei einer Beziehung zwischen Gradient und Stromstärke auch die Änderung des Gradienten längs der positiven Säule berücksichtigt werden müßte, so habe ich es unterlassen, Berechnungen unter Einführung einer dritten Konstanten anzustellen, und mich damit begnügt, für einige Versuchsreihen die mittleren Konstanten a_m und b_m aus den Beobachtungsreihen für höhere Drucke zu berechnen.

Tabelle 39.

i	X beob.	X ber.	Δ
0,297	168,5	169,8	1,3
0,469	163,6	164,1	0,5
0,815	156,5	156,0	—0,5
1,169	151,2	150,3	—0,9
1,653	145,7	145,5	—0,2
2,022	141,9	142,6	0,7

Tabelle 39 gibt zunächst einige Werte der Gradienten für verschiedene Stromstärken, die Herz bei einem Rohr von 1,5 cm Durchmesser bei einem Druck von $p = 7{,}16$ mm Hg fand, und daneben die Werte der Gradienten, wie sie sich aus der Formel

$$\sqrt{X} = 11{,}12 + \frac{2{,}48}{1+i}$$

durch Rechnung ergeben.

Die Differenzen Δ der beobachteten und berechneten Werte sind an und für sich nicht sehr groß, aber man sieht aus der Art der Abweichungen, daß die berechnete $\varphi(i\,X)$-Kurve etwas stärker gekrümmt ist als die beobachtete. Analog wäre die Abweichung zwischen Berechnung und Beobachtung bei den übrigen Versuchsreihen von Herz.

1. Berechnung von a_m und b_m aus den Beobachtungen von A. Herz.

Da bei den Beobachtungen von Herz die Stromintervalle, auf die sich die Versuche erstreckten, sich nur wenig unterscheiden, so wurden a_m und b_m aus den extremsten Werten für jede Versuchsreihe berechnet.

Tabelle 40.

2 R = 10 mm				2 R = 15 mm			
p	a_m	b_m	$\frac{a_m}{\sqrt{p}}$	p	a_m	b_m	$\frac{a_m}{\sqrt{p}}$
6,30	10,52	2,30	4,19	7,16	11,10	2,44	4,15
4,02	8,69	2,10	4,33	6,51	10,79	2,46	4,24
3,25	7,65	2,33	4,24	5,58	10,09	1,67	4,27
2,80	7,10	2,35	4,24	4,02	8,66	1,67	4,32
				3,25	7,54	1,88	4,18
				2,24	6,98	1,66	4,66
2 R = 20 mm				2 R = 25 mm			
3,90	9,38	0,94	4,75	2,24	6,99	1,16	4,67
2,80	7,60	0,87	4,54	1,74	6,29	1,01	4,77
1,74	6,45	1,04	4,89	1,29	5,50	1,01	4,84

2 R = 55 mm			
p	a_m	b_m	$\frac{a_m}{\sqrt{p}}$
1,80	5,72	0,72	4,26

Tabelle 40 enthält die so berechneten Werte von a_m und b_m für die Versuchsreihen von Herz in Tabelle II[1]).

Betrachten wir die Werte a_m und b_m in Tabelle 40, so zeigt sich:

1. b_m ist vom Druck unabhängig und um so kleiner, je größer der Querschnitt ist.

2. a_m nimmt ab mit abnehmendem Druck und zwar langsamer als dieser.

3. $a_m\, p^{-\frac{1}{2}}$ ist nahezu konstant und unabhängig vom Querschnitt.

[1]) A. Herz, a. a. O.

2. Berechnung von a_m und b_m aus Beobachtungen von Schwienhorst.

Tabelle 41 enthält die Werte von a_m und b_m, wie sie sich aus den Werten der Gradienten in Tabelle IV[1]) für die Stromstärken 2,63 und 6,56 10^{-3} Ampère ergeben.

Tabelle 41.

2 R = 0,27 cm					2 R = 0,22 cm				
p	a_m	b_m	$\frac{a_m}{\sqrt{p}}$	$\frac{a_m}{\sqrt[3]{p}}$	p	a_m	b_m	$\frac{a_m}{\sqrt{p}}$	$\frac{a_m}{\sqrt[3]{p}}$
(2,045)	(8,90)	(2,02)	(6,30)	(7,07)	(2,045)	(9,16)	–	(6,48)	(7,27)
3,72	9,44	8,68	4,91	6,09	3,72	9,30	8,47	4,82	6,00
5,39	10,87	8,40	4,68	6,20	5,39	10,60	8,68	4,58	6,04
6,99	11,83	8,26	4,49	6,19	6,99	11,43	8,68	4,33	5,99
9,2	12,38	9,86	4,08	5,91	9,2	12,07	10,76	3,98	5,77

2 R = 0,1 cm				
p	a_m	b_m	$\frac{a_m}{\sqrt{p}}$	$\frac{a_m}{\sqrt[3]{p}}$
(2,045)	(10,40)	(0,81)	(7,36)	(8,26)
3,72	10,69	6,67	5,56	6,90
5,39	11,90	6,94	5,12	6,79
6,99	12,20	9,51	4,62	6,38
9,20	12,50	14,51	4,13	5,97

Betrachten wir die Werte von a_m und b_m in der Tabelle, so zeigt sich, wenn wir zunächst von $p = 2{,}045$ absehen:

1. b_m ist für Röhren von 0,2—0,3 cm Durchmesser noch annähernd konstant, doch trifft dies für die letzte Röhre von 0,1 cm Durchmesser nicht mehr zu.

2. a_m nimmt ab mit abnehmendem Druck.

3. $a_m\, p^{-\frac{1}{2}}$ nimmt zu mit abnehmendem Druck und $a_m\, p^{-\frac{1}{3}}$ ist annähernd konstant, außer für 2 R = 0,1 cm.

Betrachtet man nun noch die Werte von b_m für $p = 2{,}045$ in der Tabelle, so zeigt es sich, daß die Werte von b plötzlich sehr viel kleiner werden. So wird für die Röhre vom Durchmesser $a_m = 0{,}27$ cm sogar $b_m = 0$, d. h. der Gradient ist

[1]) H. Schwienhorst, a. a. O.

unabhängig von der Stromstärke. Die Abnahme von b_m hängt wohl mit der Schichtung zusammen, die in diesem Falle auftrat (allerdings für die erste Röhre auch bei $p = 3{,}72$). Damit hängt wohl auch, abgesehen von der verschiedenen Art der verwendeten Gase, die Tatsache zusammen, daß für die tiefen Drucke in Tabelle 37 und 38 die Konstante b im Verhältnis zu dem Querschnitt der Röhre klein ist gegenüber den Werten in Tabelle 40 und 41 für die höheren Drucke.

Wollen wir die Ergebnisse der Anwendung der für tiefe Drucke gefundenen Interpolationsformel auf die Beobachtungen bei hohen Drucken zusammenfassen, so müssen wir zunächst berücksichtigen, daß die Möglichkeit der Darstellung aller Beobachtungen durch eine einfache Formel von vornherein nicht wahrscheinlich erscheint. Die von verschiedenen Beobachtern gefundenen Werte können schon deshalb niemals übereinstimmen, da der Gradient längs der positiven Säule sich mitunter beträchtlich ändert und diese Änderung für verschiedene Drucke verschieden ist. Dies alles bleibt in der Formel unberücksichtigt. Ferner ist auch die Abhängigkeit des Gradienten von der Erwärmung außer acht gelassen, und diese ist speziell bei den sehr engen Röhren nicht ohne Einfluß[1]). Immerhin weisen die obigen Berechnungen darauf hin, daß, solange der Einfluß dieser Fehlerquellen nicht zu stark hervortritt, $\sqrt{X}$ in der leuchtenden positiven Säule sich additiv aus zwei Funktionen zusammensetzt:

$$\sqrt{X} = \psi\,(p) + \chi\,(i,\,\mathrm{d}) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

wo ψ eine Funktion des Druckes ist, in die die dem Gase charakteristischen Größen eingehen, während χ eine Funktion der Stromstärke und des Röhrenhalbmessers ist, die abnimmt mit wachsender Stromstärke und mit abnehmendem Röhrenhalbmesser. Die Dimensionen des Entladungsgefässes kommen nur in der Funktion χ vor, und damit liegt die Annahme nahe, daß die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke (abgesehen von dem Einfluß der Erwärmung durch den Strom) keine dem Gas an sich charakteristische Eigenschaft ist. Für sehr weite Röhren müßte $\chi = 0$, also χ unabhängig von der Strom-

[1]) Vgl. E. Warburg, Wied. Ann. Bd. 54, S. 265. 1895, u. G. C. Schmidt, Ann. d. Phys. Bd. 1, S. 625. 1900.

stärke sein. Beim Übergang von der ungeschichteten zur geschichteten Entladung treten starke, vielleicht unstetige Änderungen speziell von χ auf[1]).

d) Beziehungen der Interpolationsformel zur Ionentheorie.

Es wäre nun noch festzustellen, ob die oben aufgestellte Interpolationsformel sich im Einklang bringen läßt mit den gegenwärtigen Ansichten über den Entladungsvorgang in Gasen.

In der positiven Säule müssen die verschwindenden Ionen vom Gase selbst ersetzt werden. Man nimmt an, daß die Ionisierung hier durch Ionenstoß erfolgt. Unter dem Einfluß des elektrischen Feldes erlangen die Ionen eine Geschwindigkeit. Treffen die Ionen auf ein neutrales Gasteilchen, so kann dasselbe durch die Wirkung des Stoßes ionisiert werden, wenn die Geschwindigkeit des Ions eine bestimmte Grenze überschreitet.

Ich gehe zunächst von Betrachtungen aus, wie sie J. J. Thomson[2]) für die positive Säule gegeben hat. Er geht dabei von der Annahme aus, daß die Ionisation in der positiven Säule durch die negativen Ionen, die Elektronen im wesentlichen bedingt ist. Bewegt sich ein Elektron, mit der Ladung ε unter dem Einfluß des elektrischen Feldes X, und durchläuft es dabei seine freie Weglänge λ, so ist die erlangte kinetische Energie proportional $X\varepsilon\lambda$. Ein Bruchteil der Zusammenstöße zwischen Elektronen und neutralen Teilchen wird Ionisation bewirken, und die Größe dieses Bruchteils wird von der kinetischen Energie der Elektronen abhängen. Setzt man den Bruchteil gleich $f(X\varepsilon\lambda)$, ist u die mittlere Geschwindigkeit und n die Anzahl der Elektronen in der Volumeneinheit, so ist die

[1]) Für das letztere spricht der Umstand, daß der Übergang von der ungeschichteten zur geschichteten Entladung meist mit dem Auftreten von stärkeren Diskontinuitäten verbunden ist. Die Funktion ψ ändert sich dagegen wahrscheinlich stetig. Darauf weist hin, das $a_m\, p^{-\frac{1}{3}}$ für die Versuche von Schwienhorst wenig verschieden ist von den Werten $ap^{-\frac{1}{3}}$, die für tiefe Drucke gefunden wurden. Die Unterschiede erklären sich leicht aus der Verwendung von N_2 resp. Luft. — Über Änderungen einzelner Größen beim Übergang von der geschichteten zur ungeschichteten Entladung vgl. auch H. Ebert, Wied. Ann. Bd. 69, S. 372. 1899.

[2]) J. J. Thomson, Phil. Mag. (6.) Bd. 1, S. 361. 1901; Beibl. 25, S. 552, 1901.

Zahl der in der Zeiteinheit in der Volumeneinheit durch Ionenstoß entstehenden Ionen $\frac{nu}{\lambda} f(X\varepsilon\lambda)$. Gleichzeitig wird aber ein Teil β der Elektronen absorbiert werden, ohne Ionisierung zu bewirken. Es wächst also in der Volumeneinheit die Zahl der Ionen um $\frac{nu}{\lambda}\left\{ f(X\varepsilon\lambda) - \beta \right\}$. Für die stationäre Strömung in der ungeschichteten positiven Säule ergibt sich aus der Kontinuitätsgleichung, da eine wesentliche Änderung der Ionenkonzentration nicht stattfindet:

$$\frac{nu}{\lambda}\left\{ f(X\varepsilon\lambda) - \beta \right\} = 0$$

Aus dieser Gleichung folgert nun J. J. Thomson, daß $X\lambda$ eine Konstante ist, da weder f noch β von Druck und Stromstärke abhängen. Sehen wir zunächst von der Änderung des Gradienten mit dem Druck ab, so muß:

$$X_{p = const.} = const.$$

sein.

Der Gradient dürfte sich also mit der Stromstärke nicht ändern. Die Änderung des Gradienten muß somit durch sekundäre Umstände bedingt sein. Als ein solcher wird in erster Linie der Einfluß der Wand infolge der Ionenadsorption sich geltend machen. Auf den Einfluß der Wand auf die Entladung in der positiven Säule wurde schon von verschiedenen Seiten hingewiesen. In neuerer Zeit wurde der Einfluß der Wand des Gefäßes speziell auf die Schichtenbildung und das Leuchten der Gase von E. Gehrcke[1]) betont.

Wir können uns den Einfluß der Wand ungefähr in der Weise vorstellen:

Strömt Elektrizität durch das Gas, so wird die Wand des Gefäßes eine Ladung annehmen. Es wird somit die Elektrizität an der Wand die Geschwindigkeit Null haben. Die Ladung bedingt eine Anziehung der gleichnamigen und eine Abstoßung der ungleichnamig geladenen Elektrizitätsträger. Es findet somit einerseits ein Diffusionsstrom nach der Wand hin statt, andererseits eine Verzögerung der Strömung infolge der Ge-

[1]) E. Gehrcke, Ann. d. Phys. Bd. 15, S. 509. 1904.

schwindigkeitsverteilung, also eine Art innerer Reibung. Beide Erscheinungen werden so wirken, daß infolge des Einflusses der Wand die Zahl der Ionen, die Ionisierung bewirken, herabgesetzt wird. Die mathematische Betrachtung kompliziert sich dadurch, daß auch eine Geschwindigkeitskomponente in Richtung senkrecht zur Achse dazu kommt. Eine mathematische Behandlung der Vorgänge in der positiven Säule scheint mir nur dann Aussicht auf Erfolg zu haben, wenn für die vielen Hypothesen, die wir über die einzelnen Vorgänge machen müssen, gewisse experimentelle Grundlagen vorhanden sind. Über Wandladungen liegen nur einige qualitative Versuche von Warren de la Rue und H. Müller[1]), G. Wiedemann[2]) u. a. vor, und über die Änderung der Ionenkonzentration längs des Halbmessers der Entladungsröhre liegen meines Wissens noch gar keine Versuche vor.

Zu einer Beziehung von der Form der Interpolationsformel kommt man, wenn man die Betrachtung von dem Volumenelement auf ein Querschnittselement unter Berücksichtigung der Wandladung ausdehnt und die Zahl der in der Volumeneinheit entstehenden Ionen der Stoßwirkung der Elektronen proportional setzt. Nimmt man ferner an, daß die gesamte elektrische Arbeit sich in kinetische Energie der bewegten Ionen verwandelt, so muß bei der Annahme kleiner Anfangsgeschwindigkeiten $u = k \sqrt{X}$ sein, und man kommt in der Tat auf einen Ausdruck von der Form der Gleichung (4) auf S. 103. Bei diesen Ausführungen ist noch zu beachten, dass der Einfluss der Erwärmung durch den Strom und die Änderung des Gradienten längs der positiven Säule nicht berücksichtigt sind.

2. Die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke bei der dunklen positiven Säule in weiten Entladungsgefäßen.

Die vorhergehenden Betrachtungen lassen es wahrscheinlich erscheinen, daß wir in der Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke, wie wir sie durch Messungen feststellen, keine

---

[1]) Warren de la Rue und H. Müller, Proc. Roy. Soc. Bd. 35, S. 292. 1883.

[2]) G. Wiedemann, Pogg. Ann. Bd. 158, S. 69. 1876.

dem Gas an sich charakteristische Eigenschaft vor uns haben, sondern daß diese Abhängigkeit durch sekundäre Umstände bedingt ist, und daß wohl speziell die Wand des Entladungsgefäßes den Gradienten in hohem Grade beeinflußt. Bei Röhren von 5,5 cm Durchmesser hat Herz noch eine Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke gefunden. Es wurde daher zu sehr weiten Gefäßen übergegangen.

Zu den Versuchen diente eine Röhre von einem Durchmesser $d = 15{,}0$ cm. Es wurden zwei Sonden S_1 S_2 eingeführt, zwischen denen die Potentialdifferenz gemessen wurde. Der Abstand derselben betrug 8 cm. Der Abstand der Sonde S_2 von der Anode war 1,5 cm, der Abstand der Sonde S_1 von der Kathode 8,5 cm. Als Kathode diente ein spiralförmig gewundener Draht, der eine Kathode von großer Oberfläche darstellte.

Es zeigte sich, daß die Entladung in der positiven Säule bei dem weiten Rohre stets dunkel war, eine Erscheinung, auf die schon O. Lehmann[1]) hingewiesen hat. Mitunter trat jedoch bei höheren Drucken ein Ansatz der leuchtenden positiven Säule in unmittelbarer Nähe der Kathode auf, von dem negativen Glimmlicht durch einen kleinen dunklen Raum getrennt. Der leuchtende Ansatz der positiven Säule an der Kathode hatte eine Länge von 1—3 cm und einen mittleren Durchmesser von 0,5—1,0 cm. Er verlief schwach konisch, mit dem kleineren Querschnitt gegen die Kathode hin scharf begrenzt, während er, mit dem größeren Querschnitt gegen die Anode gewandt, an Intensität allmählich abnahm. Der übrige Teil der positiven Säule war dunkel bis zum Beginn der leuchtenden Anodenschicht in unmittelbarer Nähe der Anode.

Bei den diskontinuierlichen Entladungen wächst der Ansatz der positiven Säule an der Kathode in Breite und Länge. Bei tiefen Drucken war ein schwach blaßrotes positives Licht im ganzen Rohr zu beobachten, das keine Andeutung von Schichtung zeigte. In einem einzigen Falle habe ich auch eine leuchtende positive Säule beobachtet, die aus einer einzigen leuchtenden Schicht bestand, durch dunkle Räume gegen Anoden- und Glimmlicht begrenzt.

---

[1]) O. Lehmann, Ann. d. Phys. Bd. 7, S. 1. 1902.

Die Potentialmessungen ergaben, daß bei weiten Röhren in der dunklen positiven Säule der Gradient mit wachsender Stromstärke nicht ab-, sondern zunimmt.

Tabelle 42.

$p = 8{,}5$		$p = 6{,}5$		$p = 4{,}1$		$p = 1{,}93$		$p = 1{,}4$		$p = 0{,}90$		$p = 0{,}32$	
i	X	i	X	i	X	i	X	i	X	i	X	i	X
0,25	14,1	0,25	7,4	0,25	4,1	0,25	1,4	0,5	1,2	0,5	1,1	1,0	1,5
0,5	16,6	0,5*	10,9	0,50	4,6	0,5	1,5	1,0	1,6	1,0	1,2	2,0	1,8
1,0	22,1	1,0	12,4	1,0	6,3	1,0	2,1	2,5	2,4	2,5	1,7	5,0	1,9
6,0*	30,1	5,0	21,4	5,0	14,2	5,0	4,3	5,0	2,8	5,0	2,0	10,0	1,9
10,0**	33,3	10,0	25,0	10,0	16,8	10,0	5,0	10,0	3,1	10,0	2,4	20,0	2,0
27,0	30,4	20,0	26,4	20,0	17,5	20,0	5,8	20,0	3,8	20,0	3,0	40,0	2,1
		32,0	25,9	37,0	17,4	42,0	6,8	40,0	4,7	40,0	3,5		

Tabelle 42 gibt eine Reihe von Bestimmungen des Gradienten für verschiedene Stromstärken und bei verschiedenen Drucken. Eine größere Reihe weiterer Versuchsreihen gab Werte, die mit den hier mitgeteilten gut übereinstimmen. Bei den kleinen Stromstärken zeigten sich allerdings mitunter etwas größere Abweichungen. Es mögen diese Abweichungen eventuell von einer Änderung des Gradienten längs der positiven Säule herrühren, die ja bei den kleinen Stromstärken besonders stark hervortritt. Eine Prüfung der Konstanz des Gradienten längs der positiven Säule war leider nicht möglich, da das große Entladungsrohr, von früheren Versuchen her vorhanden, eine Einführung weiterer Sonden in die positive Säule nicht gestattete.

Bei den mit * versehenen Werten konnte die Stromstärke nicht ganz konstant gehalten werden, das Elektrometer schwankte infolgedessen etwas. Es trat diese Erscheinung innerhalb der in der Versuchsreihe angegebenen Stromintervalle nur bei hohen Drucken auf[1]).

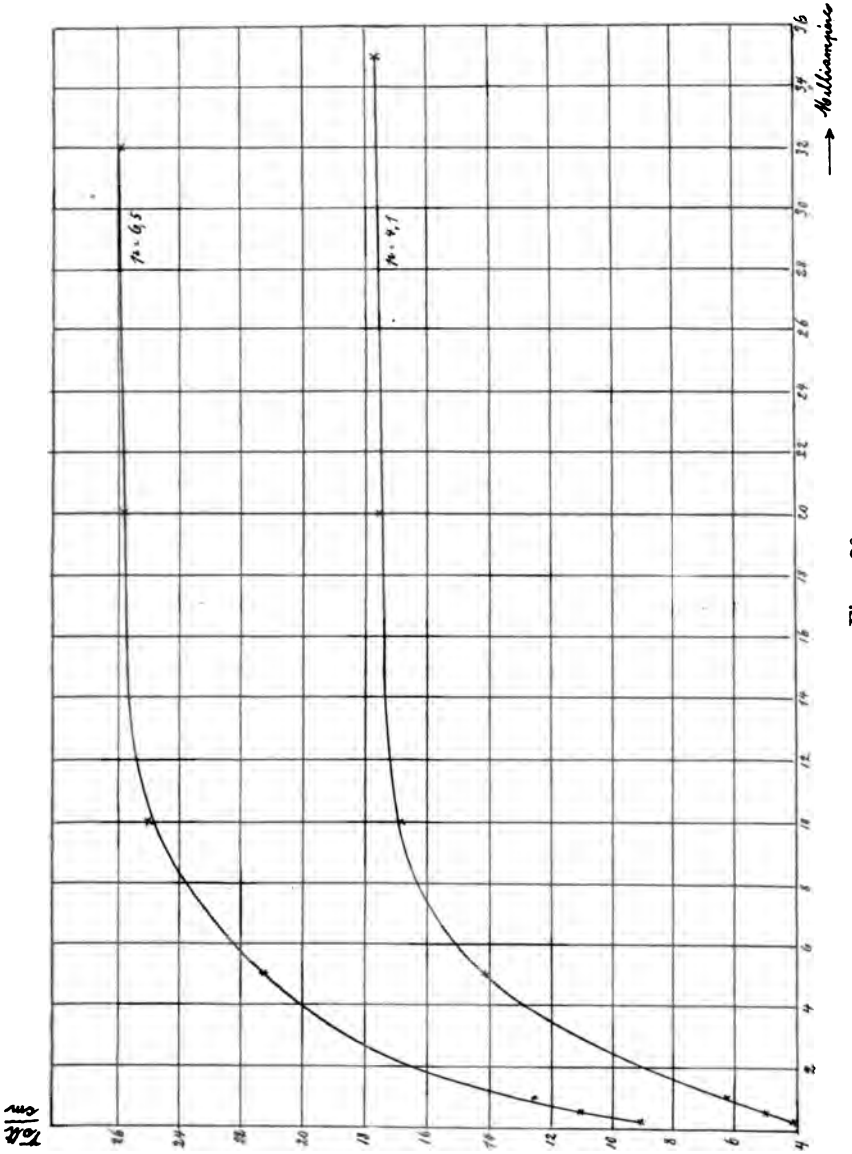
Die Tabelle zeigt:

1. Der Gradient nimmt bei den hohen Drucken an-

[1]) Bei den hohen Drucken setzte die Entladung nicht von selbst ein, sondern mußte erst gezündet werden. Dies geschah, indem S_2 zur Erde abgeleitet wurde. Hatte die Entladung eingesetzt, so konnte die Erdleitung bei S_2 aufgehoben werden, ohne daß die Entladung aussetzte.

fangs rasch, dann immer langsamer zu und bleibt für die hohen Stromstärken konstant (für die höchsten Stromstärken tritt mitunter wieder eine kleine Abnahme ein).

Eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen Gradient und Stromstärke gibt Figur 20. Als Abszissen sind die



Figur 20.

Stromstärken in Ampère 10^{-3} und als Ordinaten die Gradienten in Volt/cm aufgetragen.

2. Mit abnehmendem Druck steigt der Gradient immer langsamer mit der Stromstärke an. Das Stromintervall, für das der Gradient konstant bleibt, ist für $i = 0{,}04$ Ampère noch nicht erreicht.

Eine analoge Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke wurde für weit engere Röhren von G. C. Schmidt[1]) bei höheren Temperaturen beobachtet. Bei gesteigerter Temperatur zerfällt nämlich die ursprünglich ungeschichtete leuchtende positive Säule zunächst in Schichten, und bei weiterer Steigerung der Temperatur wird die Entladung eine dunkle. Für die letztere findet G. C. Schmidt ein ziemlich starkes Anwachsen des Gradienten mit der Stromstärke. Seine Versuche erstrecken sich nur auf kleine Stromstärken, so daß nur der erste ansteigende Teil der Kurven in Figur 20 beobachtet wurde.

Bei den Beobachtungsreihen in Tabelle 42 wurde immer von den kleineren Stromstärken ausgegangen und von diesen zu den größeren übergegangen. Ging man von den größeren Stromstärken aus, so wurde der Gradient für die kleineren Stromstärken etwas kleiner gefunden. Dies zeigt Tabelle 43.

Tabelle 43.

$p = 6{,}5$ mm Hg

i	0,25	0,5	1,0	5,0	10,0	20,0	34,0
X bei steigender Stromstärke	7,4	10,9	12,4	21,4	25,0	26,4	25,9
X bei fallender Stromstärke	6,8	8,1	11,4	21,4	25,4	25,9	25,9

Wurde der Strom längere Zeit ausgeschaltet und dann von den kleinen Stromstärken wieder ausgegangen, so traten bis auf kleine Versuchsfehler die ursprünglichen Werte wieder auf.

Für sehr kleine Stromstärken war eine Abnahme des Gradienten mit wachsender Stromstärke zu beobachten. Bei weiterer

[1]) G. C. Schmidt, Ann. d. Phys. Bd. 1, S. 629 u. 640. 1900.

Erniedrigung der Stromstärke zeigte das Telephon eine diskontinuierliche Entladung an. In den meisten Fällen war die Abnahme des Gradienten mit wachsender Stromstärke bei den kleinen Stromstärken nur dann ohne Auftreten von Diskontinuität zu erhalten, wenn von den größeren Stromstärken zu den kleineren übergegangen wurde. Eine solche Beobachtungsreihe gibt Tabelle 44.

Tabelle 44.

$p = 0{,}9$ mm Hg

i	2,5	1,0	0,5	0,25	0,2	0,15	0,10
X	1,7	1,2	1,1	3,4	6,1	7,5	24,0*

Bei $i = 0{,}10$ war die Entladung mit dem Telephon als diskontinuierlich zu erkennen. Verschiedene Beobachtungsreihen, die bei demselben Druck, von derselben Stromstärke absteigend, unmittelbar hintereinander angestellt wurden, ergaben meist sehr verschiedene Resultate. Die nachweisbare Diskontinuität trat bei sehr verschiedenen Stromstärken auf, und die Werte für dieselben Stromstärken unterschieden sich sehr beträchtlich. Es entsprechen diese Stromintervalle also jedenfalls sehr labilen Bereichen der stationären Strömung, wenn sie nicht, was wahrscheinlicher ist, nur scheinbar kontinuierliche Zustände darstellen, bei denen die Diskontinuität mit dem Telephon nicht mehr nachzuweisen war.

3. Positive Säule und Kathodenstrahlen.

Ein Kathodenstrahl ist nach der Ionentheorie nichts anderes als ein Elektronenstrahl. Wir können daher, wie dies mehrfach geschehen ist, den Ausdruck Kathodenstrahlen benützen, wenn wir es mit bewegten Elektronen zu tun haben [1]). Sprechen wir in diesem Sinne von Kathodenstrahlen in einem Gase, so müssen wir freilich berücksichtigen, daß in den meisten Fällen die Ausbildung eines wirklichen Strahles infolge der diffusen Reflexion nicht möglich ist, vor allem solange die Geschwindig-

[1]) Vgl. P. Lenard, Ann. d. Phys. Bd. 2, S. 359. 1900; Bd. 12, S. 449. 1903; Bd. 15, S. 485. 1904. — E. Gehrcke, Verh. d. D. Phys. Ges. Bd. 7, S. 64. 1905.

keit der bewegten Elektronen eine bestimmte Grenze nicht überschreitet. Man kann annehmen, daß an den Stellen der Entladungsbahn zwischen den Gebilden an der Kathode und der Anode die Ionisierung und damit die Möglichkeit des Stromdurchgangs im Gase durch Kathodenstrahlen kleiner Geschwindigkeit bedingt ist[1]). Diese Betrachtungsweise ist in ihrem Wesen identisch mit den Betrachtungsweisen der Ionentheorie, sie gibt aber die Möglichkeit, bei der Erklärung der Erscheinungen in der positiven Säule an den experimentell definierten Begriff des Kathodenstrahles und seine Starrheit anzuknüpfen.

Die Eigenschaften der Kathodenstrahlen.

Die Eigenschaften der Kathodenstrahlen, die von einem Metall ausgehen, und die Eigenschaften der Kathodenstrahlen kleiner Geschwindigkeit in der positiven Säule stimmen qualitativ überein, wenn man den Unterschied der Geschwindigkeit in beiden Fällen berücksichtigt.

1. Die Absorption ruft Fluoreszenz hervor, sowohl bei Kathodenstrahlen wie bei der positiven Säule[2]).

2. Die verschiedene Färbung des Gases ist nur ein qualitativer Unterschied. Wird die Geschwindigkeit der Strahlen in der positiven Säule erhöht, so tritt (z. B. in den engen Röhren) auch das intensive Blau der Kathodenstrahlen auf. Auch das Spektrum ist dasselbe[2]).

Wird der Kathodenfall an dem Metall durch Glühen stark reduziert, so rückt die letzte positive Schicht auf die Kathode[3]), und nur die Teile an der Kathode erscheinen dunkel infolge der hohen Temperatur. Die leuchtende positive Säule verschwindet ebenfalls in der Nähe des glühenden Drahtes[4]).

Die Farbe der Kathodenstrahlen hängt übrigens wahrscheinlich außer von der Geschwindigkeit auch von der Stromdichte ab.

---

[1]) Dieser Auffassungsweise entsprechen vielfach Auffassungen von E. Goldstein über die positive Säule. Man vgl. speziell: E. Goldstein, Wied. Ann. Bd. 11, S. 832. 1880.

[2]) E. Goldstein, a. a. O.

[3]) A. Wehnelt, Ann. d. Phys. Bd. 14, S. 425. 1880.

[4]) Faye, C. R. Bd. 1, S. 894 u. 960. 1860; W. Hittorf, Wied. Ann. Bd. 21, S. 121. 1884; K. Wesendonck, Wied. Ann. Bd. 26, S. 81. 1885; J. Stark, Ann. d. Phys. Bd. 1, S. 424 u. Bd. 3, S. 243. 1900.

3. Die geradlinige Ausbreitung ist bei den Strahlen kleiner Geschwindigkeit in der positiven Säule ebenfalls vorhanden, tritt aber in den wenigsten Fällen deutlich hervor, da die Geschwindigkeit der Strahlen meist sehr klein und die freie Ausbreitung infolgedessen nur längs einer kleinen Strecke zu beobachten ist. Wird die Geschwindigkeit größer, so tritt auch in der positiven Säule die geradlinige Ausbreitung deutlich hervor. Dies haben Versuche von E. Goldstein[1]) bei tiefen Drucken gezeigt.

4. Die magnetische Ablenkung erfolgt ebenfalls in derselben Weise wie bei Kathodenstrahlen, wenn man die Geschwindigkeit berücksichtigt. Dies haben die Versuche von H. Pellat[2]) gezeigt, nach denen die positive Säule eine Ablenkung erfährt, wie sie durch die Bahn der Elektronen bedingt ist. Für die geschichtete positive Säule hat bereits E. Goldstein[3]) darauf hingewiesen, daß jede Schicht sich wie ein Bündel negativer Strahlen verhält.

Kathodenfall und Gradient.

Ist die Ionisation in der positiven Säule durch Kathodenstrahlen kleiner Geschwindigkeit bedingt, so müssen gewisse Eigenschaften des Kathodenfalls auch bei dem Gradienten in der positiven Säule auftreten. Die Vergleichung der Potentialverhältnisse stößt aber auf gewisse Schwierigkeiten, da die Bedingungen, unter denen die Strahlen entstehen, verschiedene sind. E. Wiedemann und G. C. Schmidt[4]) haben gezeigt, daß der Kathodenfall sehr stark sinkt, wenn Kathodenstrahlen auf die Kathode treffen. In der positiven Säule wird ebenfalls durch die Strahlung benachbarter Teile der Kathodenfall herabgesetzt werden. Da die Ausbreitung der Strahlen vom Druck abhängig ist, so wird auch der Gradient vom Druck abhängig sein.

1. Die Interpolationsformel auf S. 97 und die Anwendung derselben auf hohe Drucke (S. 100) läßt es wahrscheinlich erscheinen,

[1]) E. Goldstein, Wied. Ann. Bd. 12, S. 249. 1881. Vgl. hierzu Fig. 17 auf S. 89.

[2]) H. Pellat, C. R. Bd. 138, S. 476. 1904.

[3]) E. Goldstein, Wied. Ann. Bd. 11, S. 836. 1880.

[4]) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. Bd. 62, S. 471. 1897 u. G. C. Schmidt, Ann. d. Phys. Bd. 12, S. 622. 1903.

daß innerhalb eines weiten Bereiches der Stromdichte der Gradient für die leuchtende Entladung unabhängig ist von der Stromdichte, wenn man von dem Einfluß der Wand aus den Beobachtungen abstrahiert. Dasselbe gilt für den normalen Kathodenfall.

2. Der Einfluß der Wand bedingt eine Erhöhung des Gradienten. Analoge Erscheinungen treten beim anormalen Kathodenfall auf.

3. In sehr weiten Gefäßen tritt eine dunkle positive Säule auf. Bei der dunklen Entladung steigt der Gradient mit der Stromstärke und nähert sich einem konstanten Wert. Die Versuche von C. A. Mebius[1]) lassen es wahrscheinlich erscheinen, daß auch für den Kathodenfall bei Metallen bei kleiner Stromdichte an der Kathode die Verhältnisse ähnlich liegen. Der Kathodenfall ist klein und steigt dann rasch zu einem Maximum. Es läßt sich diese Erscheinung nur bei Querströmen beobachten, da bei der selbständigen Strömung die Entladung erst von einer gewissen Stromstärke an kontinuierlich ist. Für das Maximum des normalen Gradienten ist bei einem Gase wahrscheinlich nicht die Stromstärke, sondern die Stromdichte maßgebend.

4. Gradient und Kathodenfall verhalten sich auch vollkommen analog gegenüber der Bestrahlung mit ultraviolettem Licht. Der Gradient wird nach den Versuchen von E. Wiedemann und G. C. Schmidt[2]) durch die Bestrahlung mit ultraviolettem Licht nicht herabgesetzt, und dasselbe gilt für den Kathodenfall nach den Versuchen von W. C. Baker[3]).

5. Wie der Kathodenfall für verschiedene Metalle, so ist auch der Gradient für verschiedene Gase verschieden.

Bedingungen für das Auftreten von Kathodenstrahlen.

Kathodenstrahlen bilden sich in einem Gas unter denselben Bedingungen aus, unter denen sie an der Grenzfläche eines Leiters auftreten.

---

[1]) Mebius a. a. O.

[2]) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. Bd. 66, S. 326. 1898.

[3]) s. S. 10.

1. Kathodenstrahlen gehen von der Kathode einer vom elektrischen Strom durchflossenen Entladungsröhre aus unter dem Einfluß des hohen Spannungsabfalls an der Kathode. Unter dem Einfluß eines hohen Spannungsabfalles entstehen nach dem vorhergehenden auch in Gasen Kathodenstrahlen.

2. Kathodenstrahlen werden an einer negativ geladenen Metallplatte bei der Bestrahlung mit ultraviolettem Licht ausgelöst. Daß bei Gasen dasselbe eintritt, scheinen mir die Versuche von P. Lenard[1]) zu zeigen, nach denen ein geladener Leiter seine Ladung verliert, wenn er sich außerhalb eines frei die Luft durchsetzenden Lichtbündels befindet. Der Leiter verliert seine Ladung, mag er positiv oder negativ geladen sein. Dies rührt daher, daß bei jedem Gasteilchen beide Influenzelektrizitäten vorhanden sind. Das Gasteilchen wird daher in beiden Fällen Kathodenstrahlen aussenden und infolgedessen eine positive Ladung annehmen. Durch diese ist dann sein Verhalten im elektrischen Feld bedingt.

3. Sekundäre Kathodenstrahlen treten auf, wenn Kathodenstrahlen oder Röntgenstrahlen auf eine Metallfläche auftreffen. Dem entspricht die Ionisierung eines Gases durch diese Strahlenarten. Die Ionisierung in einem Gase durch Ionenstoß ist ebenfalls auf sekundäre Kathodenstrahlung[2]) zurückzuführen.

4. Kathodenstrahlen gehen von glühenden Drähten aus. Die Beweise für das Auftreten von Kathodenstrahlen in Gasen beim Erhitzen (oder nach der üblichen Ausdrucksweise für die Ionisierung durch Temperaturerhöhung)[3]) erscheinen vielfach noch nicht einwandsfrei, da bei vielen Beobachtungen der Einfluß der glühenden Leiter, durch welche die Erhitzung stattfand, respektive der Wände des Gefäßes, in dem das Gas erhitzt wurde, schwer von dem Anteil des Gases bei den beobachteten Wirkungen zu trennen ist. Einwandsfrei scheint mir das Resultat nur dann zu sein, wenn der Leiter auf ein hohes positives Potential geladen wurde, denn dann gehen sicher keine Kathodenstrahlen von dem Leiter aus. Dagegen wird das Gas unter dem Einfluß der hohen Temperatur

[1]) P. Lenard. Ann. d. Phys. Bd. 1, S. 486 und Bd. 3, S. 298. 1900.

[2]) Über sekundäre Kathodenstrahlung in Gasen vergl. P. Lenard, Ann. d. Phys. Bd. 12, S. 449, 1903 und Bd. 15, S. 485. 1904.

[3]) J. Stark, Die Elektrizität in Gasen. Leipzig 1902. S. 45 ff.

jetzt Kathodenstrahlen aussenden; die Elektronen wandern unter dem Einfluß des elektrischen Feldes zu dem positiv geladenen Draht, und es scheint daher dieser positive Ionen auszusenden. Eine Vergleichung der Intensität der Strahlung des glühenden Drahtes und des erhitzten Gases ist möglich, wenn sowohl Draht als Gas keine Ladung besitzen.

Wird z. B. Platin geglüht, so lädt sich das Gas positiv, der Draht negativ, solange man als Gas nicht Wasserstoff benützt, dann wird umgekehrt der Draht positiv und der Wasserstoff negativ. Im ersteren Falle ist die Strahlung des Gases größer als die des Metalls, im anderen Fall die des Wasserstoffs kleiner als des Platins.

Das Strahlungsvermögen des Kupfers ist kleiner als das des Wasserstoffs, denn ein glühender Kupferdraht lädt sich negativ und der Wasserstoff positiv. Die Erscheinung ändert sich sofort, wenn die Oberfläche des Kupferdrahtes oxydiert ist, dann lädt sich der Draht positiv und der Wasserstoff negativ infolge des größeren Strahlungsvermögens des Oxydes. Daß das Strahlungsvermögen der Oxyde bei hohen Temperaturen ein sehr starkes ist, haben die Versuche von A. Wehnelt[1]) gezeigt. Die Versuche von Wehnelt weisen aber auch darauf hin, daß bei der Zerstreuung der positiven Ladung des glühenden Drahtes das Gas der wirksame Faktor ist, denn bei positiver Ladung unterschieden sich reines Platin und Platin, das mit CaO überzogen war, kaum in ihrer Wirkung. Beim Glühen im Vakuum findet fast gar keine Zerstreuung der positiven Elektrizität statt, da die Wirkung des Gases infolge der starken Verdünnung zurücktritt.

Da bei der Zerstreuung der positiven Elektrizität des Drahtes das Gas der wirksame Faktor ist, so erklärt sich auch, warum keine Metallionen auftreten, die ja die Träger der positiven Elektrizität sind.

Resultate.

1. Der Gradient nimmt bei der leuchtenden positiven Säule mit wachsender Stromstärke ab. Bei der dunklen Entladung in weiten Gefäßen nimmt der Gradient mit wachsender Strom-

[1]) A. Wehnelt, Ann. d. Phys. Bd. 14, S. 438 und S. 441. 1904.

stärke zu. Für große Stromstärken nähert sich in beiden Fällen der Gradient einem konstanten Wert[1]).

2. Die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke läßt sich für die leuchtende positive Säule bei tiefen Drucken durch eine Interpolationsformel von der Form

$$V\overline{X} = a + \frac{b}{1+i}$$

geben. Es erscheint wahrscheinlich, daß durch eine allgemeinere Beziehung

$$V\overline{X} = a + \frac{b}{\varphi(i)}$$

sich die Versuchsreihen bei allen Drucken darstellen lassen. Beim Übergang von der ungeschichteten Entladung zur geschichteten ändert sich die Konstante b eventuell sprungweise.

Die Konstante a hängt nur vom Druck ab und zwar so, daß $a\,p^{-n}$ eine vom Druck unabhängige Konstante ist. (n ist dabei < 1.)

Die Konstante b hängt vom Querschnitt ab, ist dagegen unabhängig vom Druck.

$V\overline{X}$ in der leuchtenden positiven Säule setzt sich somit additiv aus zwei Funktionen zusammen:

$$V\overline{X} = \psi\,(p) + \chi\,(i,\ d) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Die Abhängigkeit des Gradienten von der Stromstärke ist nach dieser Formel im wesentlichen bedingt durch den Einfluß der Wände des Entladungsgefäßes.

3. Gradient und Kathodenfall verhalten sich in vielen Hinsichten vollkommen analog.

4. Die Annahme, daß unter dem Einfluß einer hohen Temperatur von einem Gase Kathodenstrahlen ausgehen, vermag eine große Reihe von Beobachtungen an glühenden Drähten zu erklären.

[1]) Der Gradient ändert sich beim Übergang zu sehr viel größeren Stromstärken, als sie in dieser Arbeit benutzt wurden, nicht mehr wesentlich. So haben Versuche von A. Wehnelt, die noch nicht veröffentlicht wurden, ergeben, daß bei einer Röhre von ca. 3 cm Durchmesser der Gradient in der leuchtenden positiven Säule sich nicht ändert, wenn man von 0,01 Ampère zu 15 Ampère übergeht.

IV. Teil.

Die Bestimmung des Verhältnisses ε/μ für Kathodenstrahlen, die von Isolatoren ausgehen, und für Kathodenstrahlen, die im Gase selbst entstehen.

Seit die Annahme einer atomistischen Struktur der Elektrizität allgemeinen Eingang gefunden hat, besonders infolge der Deutung der Kathodenstrahlen als Elektronenstrahlen, haben die letzteren ein erneutes Interesse gewonnen, da sie ein quantitatives Studium der Größenverhältnisse der elektrischen Atome gestatten, und zwar ist es speziell das Verhältnis der elektrischen Ladung zu der (eventuell nur scheinbaren) Masse des Elektrons, das unseren Messungen zugänglich ist und daher eine große Bedeutung in der Physik gewonnen hat.

Entsprechend dieser Bedeutung wurde ε/μ für Kathodenstrahlen ermittelt, die unter den verschiedensten Bedingungen entstehen. Es wurde ε/μ bestimmt

1. für Kathodenstrahlen, die von Kathoden aus verschiedenen Metallen in einer vom elektrischen Strom durchflossenen Entladungsröhre bei tiefen Drucken ausgehen[1]);

2. für Kathodenstrahlen, die von glühenden Drähten ausgehen[2]);

3. für Kathodenstrahlen, die von erhitzten Oxyden ausgehen[3]);

4. für Kathodenstrahlen, die unter dem Einfluß von ultraviolettem Licht an einer negativ geladenen Metallplatte ausgelöst werden[4]);

5. für reflektierte Kathodenstrahlen[5]);

---

[1]) A. Schuster, Proc. Roy. Soc. Bd. 47, S. 526. 1890. Wied. Ann. Bd. 65, S. 877. 1898. J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) Bd. 44, S. 293. 1897. W. Kaufmann, Wied. Ann. Bd. 62, S. 596. 1897. Bd. 65, S. 431. 1898. W. Wien, Wied. Ann. Bd. 65, S. 440. 1898. E. Wiechert, Wied. Ann. Bd. 69, S. 739. 1899. W. Seitz, Ann. d. Phys. Bd. 6, S. 1. 1901. P. Lenard, Ann. d. Phys. Bd. 2, S. 359. 1900. S. Simon, Wied. Ann. Bd. 69, S. 589. 1899.

[2]) J. J. Thomson, Phil. Mag. Bd. 48, S. 547. 1899.

[3]) A. Wehnelt, Ann. d. Phys. Bd. 14, S. 425. 1904.

[4]) J. J. Thomson, Phil. Mag. Bd. 48, S. 547. 1899. P. Lenard, Ann. d. Phys. Bd. 2, S. 359. 1900.

[5]) H. Starke, Verh. d. D. Phys. Ges. Bd. 5, S. 14. 1903.

6. für Kathodenstrahlen, die durch ein dünnnes Metallplättchen hindurchgelassen werden[1]);

7. für Kathodenstrahlen, die von radioaktiven Substanzen ausgehen[2]).

Sehen wir zunächst ab von den radioaktiven Substanzen, die ihrem ganzen Verhalten nach eine gewisse Sonderstellung einnehmen, so beziehen sich alle diese Versuche auf Kathodenstrahlen, die ihren Ursprung an einem Leiter der Elektrizität nehmen. Dagegen wurde bisher niemals für Kathodenstrahlen, die von einem Isolator ausgehen, und für Kathodenstrahlen, die im Gase entstehen, das Verhältnis ε/μ bestimmt. Bei dem großen Unterchied in dem elektrischen Verhalten zwischen Leitern einerseits und Isolatoren und Gasen andererseits, erschien es wünschenswert, auch für diese Fälle ε/μ zu bestimmen und zu prüfen, ob auch in diesen Fällen ε/μ denselben Wert hat. Haben die bisherigen Versuche die Unabhängigkeit von ε/μ von der Art der Entstehung der Kathodenstrahlen ergeben, so sollen die im folgenden mitgeteilten die Unabhängigkeit von dem elektrischen Verhalten des emittierenden Körpers geben.

Als Kathodenstrahlen, die an der Grenzfläche von Isolator und Gas ihren Ursprung nehmen, wurden die Kathodenstrahlen gewählt, die unter dem Einfluß des ultravioletten Lichts von einer negativ geladenen Isolatorplatte auszugehen, und zwar dienten zu den Beobachtungen speziell die Strahlen, die von Glasplatten ausgehen.

Die Gase nehmen insofern eine Sonderstellung ein, als sie an und für sich Nichtleiter sind, unter dem Einfluß von Kathodenstrahlen (u. a. Ionisatoren) aber zu Leitern der Elektrizität werden.

Als Kathodenstrahlen, die im Gase selbst entstehen, wurden die Striktionskathodenstrahlen verwandt und die Anodenkanalstrahlen, die unter dem Einfluß des anormal hohen Anodenfalls in der im 3. Abschnitt dieses Teiles angegebenen Weise entstehen.

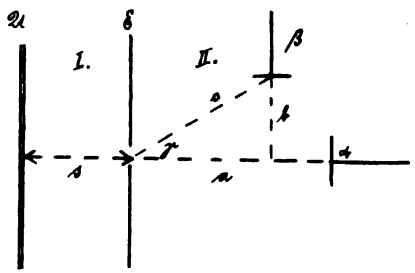
---

[1]) P. Lenard, Wied. Ann. Bd. 64, S. 279. 1898; Starke, a. a. O.

[2]) W. Kaufmann, Phys. Zeitschr. Bd. 4, S. 54. 1902.

1. Bestimmung von ε/μ für Kathodenstrahlen, die unter dem Einfluſs des ultravioletten Lichts von einer negativ geladenen Glasplatte ausgehen.

Die Versuche des I. Teils haben gezeigt, daß bei Atmosphärendruck an Isolatoren eine lichtelektrische Zerstreuung ebenso wie an Metallen stattfindet. Geht man zu tieferen Drucken über, so ändert sich bei Isolatoren die Zerstreuung in derselben Weise wie bei Metallen. Die Wirkung nimmt erst zu und dann wieder ab. Bei sehr tiefen Drucken kann ε/μ für die Kathodenstrahlen nach einer von P. Lenard angegebenen Methode[1]) aus Potentialabfall und magnetischer Ablenkung bestimmt werden. In eine Röhre mit seitlichem Ansatzrohr mit Quarzfenster, wie sie Lenard zu seinen Versuchen verwendet hat, waren die Elektroden U, E, α und β eingekittet. Die Lage der Elektroden gibt Figur 21.



Figur 21.

Die zu bestrahlende Elektrode U war eine Glasplatte von 2 cm Radius. Die Ladung der Platte erfolgte in der S. 7 angegebenen Weise durch einen Stanniolbeleg, der auf der Rückseite mit einer Schicht von Siegellack umgeben war. Die Zuleitung zu der Elektrode befand sich in einer Glasröhre. Diese war an der Einkittstelle mit einem zur Erde abgeleiteten Messingrohr umhüllt, um einen Strom von U nach der Glaswand des Rohres zu verhindern. Wurde diese Vorsicht nicht gebraucht, so traten Wandladungen auf, die teils durch direkte Ladung, teils durch Influenzwirkung den Elektrometergang störten. Die zur Erde abgeleitete Elektrode E bestand aus einer Messingplatte von 2 cm Radius mit einer 5 mm weiten Öffnung. Die

[1]) P. Lenard, Ann. d. Phys. Bd. 2. S. 359. 1900.

kleinen Messingelektroden α und β konnten abwechselnd mit dem Elektrometer verbunden werden. Der Teil der Röhre, in dem sich die Elektroden E, α und β befanden, war mit Stanniol umgeben, das zur Erde abgeleitet war. Das Elektrometer befand sich wie bei den lichtelektrischen Versuchen im I. Teil in einem Kasten aus Weißblech, der ebenso wie die Messingröhren, die die Zuleitungsdrähte umgaben, zur Erde abgeleitet war.

Das Magnetfeld wurde durch zwei Magnetisierungsspulen von 14,1 cm Länge und 10 cm Durchmesser erzeugt. Die Zahl der Windungen pro 1 cm betrug 25,18.

Der Elektrometergang in β wurde bei verschiedenen Magnetisierungsstromstärken J bestimmt und das Maximum des Elektrometergangs graphisch ermittelt. Da die Kathodenstrahlen bereits im Raume zwischen UE ziemlich stark abgelenkt wurden, so mußte der durch eine Quarzlinse auf U erzeugte Lichtfleck etwas seitwärts verschoben werden, um für die Magnetisierungsstromstärke des maximalen Elektrometerganges ungefähr den gleichen Elektrometerausschlag in β wie in α für $J = 0$ zu erhalten. Genau derselbe Ausschlag kann nicht erzielt werden, da die Strahlen nicht vollkommen homogen sind.

Aufstellung der Gleichung für ε/μ. — Zur Berechnung des Krümmungsradius mußte der Winkel berücksichtigt werden, unter dem die Strahlen durch die Blende bei E gehen. Bei den Versuchen von P. Lenard war dieser Winkel klein, es konnte daher bei der graphischen Ermittelung des Winkels ein angenähert berechneter Wert von ε/μ verwandt werden, wie er sich unter Annahme ergab, dass der Strahl in dem Magnetfeld vor der Blende keine Ablenkung erfährt. Bei meinen Versuchen war jedoch infolge des stärkeren Magnetfeldes zwischen UE dieser Winkel groß, es wurde daher ε/μ aus der im folgenden abgeleiteten Gleichung bestimmt.

Zu der Bestimmung des Verhältnisses der Ladung ε zu der Masse μ eines Teilchens eines Kathodenstrahles aus der Elektrodenspannung und der magnetischen Ablenkung dienen die beiden Gleichungen:

$$g^2 = \frac{\varepsilon}{\mu} \cdot 2X \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$r = \frac{g}{\mathfrak{H}} \cdot \frac{\mu}{\varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Die Gleichung (1) gibt unter der Annahme einer kleinen Anfangsgeschwindigkeit die Endgeschwindigkeit g, die ein Teilchen unter dem Einfluß der beschleunigenden Kraft der Potentialdifferenz X erlangt hat. Die Gleichung (2) gibt den Krümmungsradius r der Bahn der Teilchen im magnetischen Feld von der Stärke $\mathfrak{H}$.

Eine Beschleunigung erfahren die Teilchen des Kathodenstrahls in unserem Fall nur längs der Strecke UE. Es wird daher für den Raum II die Geschwindigkeit g_o konstant sein und wir bekommen die Gleichungen

$$g_o^2 = \frac{\varepsilon}{\mu} \cdot 2\,V \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1a)$$

$$r_o = \frac{g_o}{\mathfrak{H}_o} \cdot \frac{\mu}{\varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2a)$$

wenn V die Potentialdifferenz zwischen UE und $\mathfrak{H}_o$ die Stärke des mittleren Magnetfeldes im Raume II ist. Ist J der Strom der Magnetisierungsspule, so ist $\mathfrak{H}_o = J \cdot H_o$, wo H_o die Intensität des Feldes für 1 Ampère ist.

Ist α_o der Winkel, unter dem die Strahlen durch die Blende bei E gehen, so ergibt sich aus einfachen geometrischen Betrachtungen für den Krümmungsradius:

$$r_o = \frac{c}{2 \sin(\gamma - \alpha_o)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

wo $\operatorname{tg}\gamma = \frac{b}{a}$ und $c = \sqrt{a^2 + b^2}$.

Durch Kombination der Gleichungen (1a) (2a) und (3) ergibt sich für ε/μ die Gleichung:

$$\sin(\gamma - \alpha_o) = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \cdot \frac{J}{\sqrt{2V}} \cdot \frac{H_o c}{2} \quad \ldots \quad (4)$$

in der alle Größen bis auf α_o sich bestimmen lassen.

Zur Bestimmung von α_o betrachten wir den Raum I. Für ihn gelten die Gleichungen (1) und (2). Der Spannungsabfall längs der Strecke zwischen U ($x = o$) und E ($x = s$) ist gleich V. Für einen Punkt x ist daher $X = \frac{Vx}{s}$. Das Magnetfeld im Raum I ist $\mathfrak{H} = JH$, wo H eine Funktion von x ist.

Da der Winkel der Strahlen gegen die x-Achse gegeben ist durch $a = \int \frac{dx}{r}$, so ergibt sich aus (1) und (2) unter Berücksichtigung der Werte von X und $\mathfrak{H}$ für Raum I:

$$a_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \frac{J}{\sqrt{2V}} \sqrt{s} \int_0^s \frac{H dx}{\sqrt{x}} \quad \ldots \quad (5)$$

Diesen Wert in Gleichung (4) eingesetzt, ergibt sich für ε/μ die Gleichung:

$$\sin\left(\gamma - \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \frac{J}{\sqrt{2V}} \sqrt{s} \int_0^s \frac{H dx}{\sqrt{x}}\right) = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \frac{J}{\sqrt{2V}} \frac{H_0 c}{2} \quad (6)$$

Bestimmt man die Magnetisierungsstromstärke J in der Spule, für die ein maximaler Elektrometergang bei einem Potential V der belichteten Elektrode U erzielt wird, so braucht man nur noch das magnetische Feld in I und II für die Magnetisierungsstromstärke 1 Ampère zu kennen, dann läßt sich aus (6) ε/μ bestimmen, da alle übrigen Größen in der Gleichung durch die Lage der Elektroden UE und β bestimmt sind.

Bestimmung des Magnetfeldes. — Da die beiden Magnetisierungsspulen sich nicht unmittelbar berührten, so war das Magnetfeld in der Mitte kleiner, als es sich aus der Berechnung aus der Windungszahl ergeben würde. Aus demselben Grunde war auch außerhalb der Spule ein ziemlich starkes Magnetfeld vorhanden. Die Ausmessung des Magnetfeldes wurde mit einer Probespule durchgeführt, zu deren Eichung das Magnetfeld einer Spule von 34,8 cm Länge und 1174 Windungen diente.

Ist x der Abstand von der Elektrode U, so ergaben sich für H (Magnetisierungsstromstärke 1 Ampère) die in der Tabelle 45 angegebenen Werte.

Tabelle 45.

x	0	0,5	1,0	4,0	5,5	6,5	7,5	8,5
H	2,60	3,72	4,46	9,67	11,90	13,36	13,36	13,36

Der Abstand der Blende von der Elektrode U war 4,1 cm, der Abstand des Mittelpunkts der Magnetisierungsspule von der Elektrode U war 7,5 cm. In dem in Fig. 21 mit II bezeichneten Raume ändert sich das Magnetfeld, wie aus Tabelle 45

zu ersehen ist nur wenig, es kann für H_o daher ein mittlerer Wert $H_o = 12{,}5$ Gauß gesetzt werden.

Das Magnetfeld zwischen U und E steigt fast linear an. Wir können daher $H = Ax + B$ setzen. Setzt man $A = 1{,}79$ und $B = 2{,}65$, so weichen die beobachteten und berechneten Werte für H nur wenig voneinander ab. Dies zeigt Tabelle 46.

Tabelle 46.

x	H beob.	H ber.	Diff.
0	2,60	2,65	— 0,05
0,5	3,72	3,55	+ 0,17
1,0	4,46	4,44	+ 0,02
4,0	9,67	9,81	— 0,14

Die Differenzen zwischen beobachteten und berechneten Werten in Kolumne 4 der Tabelle sind so klein, daß wir für die Auswertung des bestimmten Integrals in Formel (6)

$$H = 1{,}79\,x + 2{,}65$$

setzen können.

Umformung der Gleichung für ε/μ unter Berücksichtigung der Konstanten der Versuchsanordnung. — Für das mittlere Magnetfeld im Raume II ergibt sich $H_o = 12{,}5$ und da $\sqrt{s}\int_0^s \frac{H\,dx}{\sqrt{x}} = 41{,}78$ ist, so nimmt die Gl. (6), wenn man $y = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}\,\frac{J}{\sqrt{2\,V}}\cdot 41{,}78$ als Variable einführt, die einfache Form an:

$$\sin(26^\circ\,34' - y) = 0{,}67\cdot y$$

Der Wert von y läßt sich leicht graphisch ermitteln. Führen wir die Bestimmung von y aus, so bekommen wir für ε/μ die einfache Beziehung:

$$\frac{\varepsilon}{\mu} = \frac{V}{J^2}\;88\cdot 10^{-6} \quad \ldots\ldots \quad (6a)$$

Bestimmung von ε/μ. — Die Elektrode U respektive der Stanniolbeleg auf der Rückseite von U war mit dem negativen Pol einer Influenzmaschine verbunden, deren positiver Pol zur

Erde abgeleitet war. Um ein konstantes Potential der Elektrode U zu erzielen, war U mit den Innenbelegen einer Reihe parallel geschalteter Leidner Flaschen und einem Spitzenkamm verbunden. Dem Spitzenkamm gegenüber stand eine Metallplatte, die ebenso wie die Außenbelege der Leidner Flaschen zur Erde abgeleitet war.

Da die Intensität der Bogenlampe häufig nicht vollkommen konstant war und bei der Bestimmung der Magnetisierungsstromstärke J für den maximalen Elektrometergang eine Zweiteilung des Maximums in den meisten Fällen auftrat, wie sie schon von Lenard bei Metallen beobachtet wurde, so war die Bestimmung des Maximums in vielen Fällen etwas unsicher.

Tabelle 47.

V (Volt)	J	ε/μ
8100	2,59	$1{,}03 \cdot 10^7$
8900	2,65	$1{,}12 \cdot 10^7$
9500	2,75	$1{,}11 \cdot 10^7$
10.000	2,97	$1{,}00 \cdot 10^7$

Die Tabelle 47 gibt für einige Potentiale V die zugehörige Magnetisierungsstromstärke J für den maximalen Elektrometergang und die nach (6a) berechneten Werte von ε/μ.

Einige weitere Versuchsreihen zwischen 8000 und 11000 Volt ergeben Werte von derselben Größenordnung. Es traten jedoch mitunter noch größere Abweichungen zwischen den einzelnen Werten von ε/μ auf. Die extremsten Werte bei ca. 30 Beobachtungen lagen zwischen $0{,}96 \cdot 10^7$ und $1{,}20 \cdot 10^7$.

Die Übereinstimmung ist unter den obwaltenden Versuchsbedingungen eine überraschend gute, und wir ersehen aus den Werten, daß sie innerhalb des Bereiches der bis jetzt gefundenen Werte liegen[1]).

[1]) Der Mittelwert aus sämtlichen Beobachtungen ist $\varepsilon/\mu = 1{,}06 \cdot 10^7$, weicht also wenig von dem Wert von Lenard ab, der für die Kathodenstrahlen, die unter dem Einfluß des ultravioletten Lichtes von Metallen ausgehen, den Wert $1{,}16 \cdot 10^7$ gefunden hat.

2. Bestimmung von ε/μ für Striktionskathodenstrahlen.

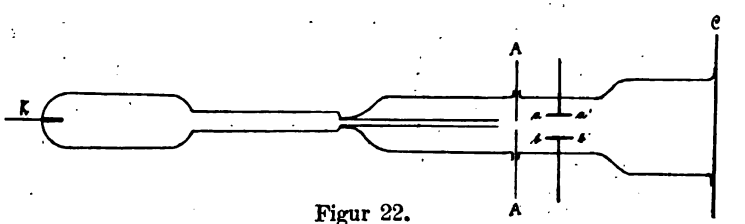
Die Untersuchungen über die magnetische Ablenkung der Striktionskathodenstrahlen haben gezeigt, daß die magnetische Ablenkung zur Bestimmung des Größenverhältnisses ε/μ verwendet werden kann, da in dem abgelenkten Strahlenbündel vorwiegend Strahlen mittlerer Geschwindigkeit vertreten sind. Wir werden jedoch nach den Resultaten der Messungen im 5. Abschnitt des II. Teiles gut daran tun, nur schwache Magnetfelder zu benutzen, da sonst leicht eine Störung in dem Potentialabfall und damit in der Geschwindigkeit der Strahlen auftritt. Die magnetische Ablenkung gibt

$$r = \frac{g}{\mathfrak{H}} \frac{\mu}{\varepsilon}$$

Zur Elimination von g brauchen wir eine zweite Beziehung, und diese können wir, da Potentialmessungen aus den angegebenen Gründen keine Verwendung finden können, aus der elektrostatischen Ablenkung gewinnen. Werden die Kathodenstrahlen durch ein zur Fortpflanzungsrichtung senkrecht stehendes elektrisches Feld $\mathfrak{F}$, das sie längs der Strecke x durchlaufen, abgelenkt, so ist die Ablenkung:

$$y = \frac{\varepsilon}{\mu} \cdot \frac{\mathfrak{F}}{2} \cdot \frac{x^2}{g^2}$$

Wegen der Inhomogenität der Strahlen muß die Ablenkung wieder für die Strahlen mittlerer Geschwindigkeit bestimmt werden, und es empfiehlt sich daher, die Stärke des elektrostatischen Feldes nicht zu groß zu wählen.



Figur 22.

Zur Bestimmung des Verhältnisses ε/μ aus elektrostatischer und magnetischer Ablenkung diente eine Röhre von der in Figur 22 gegebenen Form. Als Kathode wurde ein Aluminiumdraht K verwandt. Die Verengerung bestand aus zwei Röhren von je 15 cm Länge und einem Durchmesser von 1,0 respektive

0,1 cm. Als Anode A diente eine Zinkplatte mit kreisförmiger Öffnung, durch die die aus der Kapillare austretenden Strahlen hindurchgingen. Die Kapillare war in die Erweiterung des Anodenteiles eingekittet.

Zur magnetischen Ablenkung diente das Feld der beiden Magnetisierungsspulen, die S. 123 beschrieben sind. Zur elektrostatischen Ablenkung waren hinter der Anode zwei Kondensatorplatten aa' und bb' eingeführt. Es war $aa' = 4{,}9$ cm und $ab = 1{,}6$ cm.

Wollte man Kathodenstrahlen erhalten, deren Verlauf in dem Teil hinter der Anode verfolgt werden konnte, so mußte man die empfindliche Entladungsform wählen und zu sehr tiefen Drucken übergehen. Als Stromquelle diente eine 20plattige Influenzmaschiene. Die Strahlen dehnten sich mit abnehmendem Druck immer weiter aus und waren schließlich bis zum Ende der Gefäßwand zu verfolgen. Sie riefen jedoch auf dem Schirm C mit Balmainscher Leuchtfarbe kein Leuchten hervor, da sie gegen das Ende der Röhre ziemlich diffus wurden. Nur wenn mitunter eine stark leuchtende Einzelentladung auftrat, dann war ein hell leuchtender Fleck auf dem Schirm zu beobachten. Im rotierenden Spiegel erschien die Entladung vollkommen kontinuierlich, bis auf die zeitweise auftretenden Einzelentladungen. Der Druck, bei dem die Versuche ausgeführt wurden, betrug ungefähr 0,003 mm Hg.

Die elektrostatische Ablenkung der Kathodenstrahlen wurde in der Weise ausgeführt, daß die Potentialdifferenz zwischen den Kondensatorplatten so lange gesteigert wurde, bis die Strahlen zum Rand b' der unteren Platte abgelenkt wurden. Wurden die Strahlen dann in entgegengesetzter Richtung bis zum Rand a' abgelenkt, so unterschieden sich die angelegten Potentialdifferenzen nur um sehr wenig. Daher war anzunehmen, daß die unabgelenkten Strahlen das Feld zentral durchsetzten, und es konnte aus beiden Beobachtungen das Mittel genommen werden. Für das elektrische Feld ergab sich $\mathfrak{F} = 27{,}5$ Volt/cm und mithin

$$\frac{\mu}{\varepsilon} g^2 = 41{,}3 \cdot 10^9 \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{I.}$$

wenn wir das absolute elektromagnetische Maßsystem der Berechnung zugrunde legen.

Da aus den oben erwähnten Gründen für die magnetische Ablenkung nur kleine Feldstärken benutzt werden sollten, so wurde die Ablenkung des Kathodenstrahles bei kleinen Magnetisierungsstromstärken an einer Skala bei ab beobachtet und aus den Ablenkungen der Krümmungsradius berechnet. Nun wird allerdings bei den kleinen Ablenkungen ein kleiner Ablesungsfehler einen großen Fehler hervorrufen und die Bestimmung daher ungenau werden, andererseits wird aber der Mittelwert der untereinander abweichenden Beobachtungen immer noch ein richtigeres Resultat geben, als wenn die Potentialverteilung und damit die Starrheit der Strahlen durch das magnetische Feld stark geändert wird.

Die folgende Tabelle 48 enthält für 3 Magnetisierungsstromstärken den zugehörigen Krümmungsradius, wie er sich als Mittelwert aus mehreren Einzelbeobachtungen ergibt.

Tabelle 48.

J	r	Jr
0,1	37,1	3,71
0,15	23,3	3,50
0,25	14,5	3,63

Wurden die Kathodenstrahlen bis zum unteren Rand von AA abgelenkt, so ergab sich für Jr ein Wert von ca. 3,0. Da die Kathodenstrahlen durch den Anodenfall bei AA eine Beschleunigung erfahren, die bei der letzten Messung in Wegfall kommt, so erklärt sich, daß der Wert für Jr in diesem Falle kleiner gefunden wurde, während er nach den Messungen auf S. 86 größer sein müßte, da die nur sehr selten auftretenden Einzelentladungen wohl keinen merklichen Einfluß ausübten.

Nehmen wir aus den obigen Messungen für die kleinen Magnetisierungsstromstärken den Mittelwert für Jr, so ergibt sich Jr = 3,61, und da das mittlere Magnetfeld bei dem betreffenden Abstand der Magnetisierungsspulen sich zu 15,5 Gauß ergab, so ist:

$$\frac{\mu}{\varepsilon}\, g = 55{,}9 \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{II.}$$

Aus I und II folgt

$$\frac{\varepsilon}{\mu} = 1{,}32 \cdot 10^{7}$$

3. Bestimmung von ε/μ für Kathodenstrahlen an der Anode.

Der hohe Anodenfall, über dessen Auftreten im 4. Abschnitt des II. Teiles einige Versuche angestellt wurden, muß den negativen Elektrizitätsträgern eine Geschwindigkeit erteilen, die zur Entstehung von Kathodenstrahlen[1]) Veranlassung gibt. In der Tat, treten Kathodenstrahlen auf, wenn wir bei dem hohen Anodenfall den Strahlen Gelegenheit zur freien Entwicklung geben, indem wir die Anode mit einer Öffnung versehen, aus der die Strahlen ebenso wie die Kanalstrahlen an der Kathode austreten. Wir können diese Strahlen als Kathodenstrahlen an der Anode oder Anodenkanalstrahlen bezeichnen. Zu den folgenden Versuchen diente als Anode eine Aluminiumplatte, an der nach langem Stromdurchgang der anormale Anodenfall auftrat. Das Verhältnis ε/μ konnte aus einer Potentialmessung und aus der Krümmung der Strahlen im Magnetfeld bestimmt werden. Aus Gl. (1) und (2) S. 121 ergibt sich $\frac{\varepsilon}{\mu} = \frac{2X}{r^2 J^2 H_0^2}$.

Die Erzeugung und Ausmessung des Magnetfeldes erfolgte in der S. 121 u. 123 angegebenen Weise. Der Krümmungsradius im Magnetfeld wurde in der Weise ermittelt, daß die Kathodenstrahlen zu einem Halbkreis gebogen wurden und der Durchmesser desselben bestimmt wurde. Tabelle 49 enthält einige Werte von J und r für einen Versuch, bei dem $X = 105$ Volt war. Der Versuch wurde angestellt bei einem Druck von 0,05 mm Hg und einer Stromstärke $i = 4{,}75 \cdot 10^{-3}$ Ampère.

Tabelle 49.

J	2r	Jr
3,9	1,0	1,95
3,0	1,3	1,95
2,5	1,5	1,88

Der Mittelwert ist somit $Jr = 1{,}93$, und da sich $H_0 = 18{,}3$ Gauß ergab, so ist

$$\frac{\varepsilon}{\mu} = 1{,}68 \cdot 10^7.$$

4. Zusammenfassung.

Tabelle 50 enthält die Werte von ε/μ, die in den vorhergehenden Abschnitten erhalten wurden.

[1]) Im letzten Hefte der Verh. d. D. Phys. Ges. spricht auch E. Gehrcke die Ansicht aus, daß an der Anode Kathodenstrahlen entstehen können.

Tabelle 50.

Emittierender Körper	Erzeugung der Strahlen	$\frac{\varepsilon}{\mu}$
Isolator (Glas) . . .	Potentialabfall und ultraviolettes Licht	$0{,}96.10^7$—$1{,}20.10^7$
Gas	Verengerung des Querschnittes in der positiven Säule	$1{,}32.10^7$
Gas	Anormaler Anodenfall	$1{,}68.10^7$

Die gefundenen Werte stimmen der Größenordnung nach unter sich und mit den bisher gefundenen Werten überein, und mehr ließ sich unter den obwaltenden Versuchsbedingungen nicht erzielen.

Es dürfte somit ganz allgemein der Satz gelten:

Überall, wo in der Natur Kathodenstrahlen auftreten, ist die Größenordnung von ε/μ dieselbe. Die Bedeutung dieses Satzes liegt darin, daß er den Schluß auf die Einheit des elektrischen Atoms gestattet gegenüber der Vielheit der Atome der Materie.

Ich spreche hier nur von der Größenordnung, da nach den Versuchen von W. Kaufmann[1]) für Strahlen großer Geschwindigkeit das Verhältnis ε/μ von ihrer Geschwindigkeit abhängig gefunden wurde. Diese Abhängigkeit beeinträchtigt jedoch keineswegs die Allgemeingültigkeit des obigen Satzes.

Ich möchte nicht unerwähnt lassen, daß eine große Reihe von Versuchen in dieser Arbeit mit einer Influenzmaschine ausgeführt wurde, die Herr Professor E. Wiedemann der Liberalität des Elisabeth Thompson Fund in Boston verdankt, und die mir in liebenswürdigster Weise zu meinen Versuchen überlassen wurde.

Eine Zusammenstellung der Resultate der vorliegenden Arbeit findet sich am Ende der einzelnen Teile resp. Abschnitte. Von einer Übersicht über die Gesamtresultate, die nur eine Wiederholung der schon hervorgehobenen Ergebnisse darstellen würde, kann daher abgesehen werden.

[1]) W. Kaufmann, Physik. Zeitschr. Bd. 4, S. 54. 1902.

Über Unregelmäfsigkeiten des Herzschlags.

Von D. Gerhardt.

Aus der medizinischen Klinik der Universität Erlangen.

Vorgetragen in der Sitzung vom 9. Januar 1905.

Unregelmäßigkeit des Herzschlags kommt vor als Zeichen schwerer Erkrankung des Herzens, sie findet sich aber auch als Symptom rein nervöser Störungen, ja sie wird, zumal bei Kindern gegen die Pubertätszeit hin und hinwiederum bei alten Leuten, des öfteren beobachtet, ohne daß überhaupt irgendwelche nachweisbare Störung der Gesundheit bestände.

Unter diesen Umständen ist der diagnostische Wert der Arhythmie natürlich ein recht beschränkter, solange man nicht die verschiedenen Arten leicht voneinander unterscheiden kann. Man hat deshalb schon seit lange gesucht, die Einzelheiten ihrer Erscheinungsweise zu studieren und bestimmte Formen herauszufinden und von dem Gros der Fälle zu sondern.

Man kam so unter der Leitung von Traube und Riegel zunächst zur Aufstellung des Pulsus bigeminus und des Pulsus alternans; auch das gelegentliche oder regelmäßige Ausfallen einzelner Pulsschläge, der Pulsus intermittens, ist schon lange als eine eigene Form beschrieben und ist meist als die leichteste Arhythmieform betrachtet worden.

In den letzten Jahren haben nun die Forschungen der Physiologie, vor allem die grundlegenden Arbeiten Engelmanns, eine neue Basis für das Studium der Herzunregelmäßigkeiten begründet, und die Kliniker haben sich eifrig bemüht, von den neugewonnenen Gesichtspunkten aus die vielbearbeitete Frage wieder in Angriff zu nehmen. Man ist dadurch in der Tat zu einem besseren Einblick in die Entstehungsweise der Arhythmien, zu einer einheitlicheren Auffassung all dieser Störungen ge-

langt; und man kann wohl sagen, daß kaum auf einem anderen Gebiet die im Tierexperiment möglichen Variationen von Störungen einer Funktion besser ihre Analoga in der klinischen Beobachtung gefunden haben als gerade auf dem Gebiet der Pulsarhythmien. Und wenn auch die Verwertbarkeit dieser Errungenschaften für die Diagnostik einstweilen noch eine ziemlich beschränkte ist, so verlohnt es sich doch der Mühe, eine Zusammenstellung dessen zu geben, was die Analyse der klinischen Arhythmieformen auf Grund der modernen physiologischen Anschauungen zutage gefördert hat.

Engelmann hat in einer Reihe von Abhandlungen[1]) dargelegt, daß das Herz hauptsächlich durch zweierlei Gruppen von Einflüssen in seinem Rhythmus gestört werden kann: direkt durch elektrische oder mechanische Reizung seiner Wandung und indirekt durch reflektorische Nervenerregung oder durch Änderung der Außenbedingungen (Wärme der Umgebung etc.) Beide Gruppen von Erscheinungen finden ihre Analoga in den klinischen Beobachtungen.

Extrasystolen. Die erste Gruppe gründet sich auf das Auftreten von sogenannten Extrasystolen. Die Lehre von diesen Extrasystolen baut sich auf folgenden Tatsachen auf.

Ein mechanischer oder elektrischer Reiz löst am Herzen, wie schon Marey gezeigt hatte, eine vorzeitige Zuckung aus; aber er vermag das nur dann, wenn eine gewisse Zeit seit der letzten Spontankontraktion verflossen ist; unmittelbar nach einer Systole ist der Herzmuskel unerregbar, er befindet sich im Zustand der „refraktären Phase". Ein nach dem Ablauf dieser refraktären Phase einwirkender künstlicher Reiz löst eine Kontraktion aus, deren Dauer und Intensität meist geringer ist als die normalen Herzkontraktionen; das hängt ab teils von der geringeren Füllung des Herzens, teils davon, daß das Kon-

[1]) Es sind das fast durchweg die Arbeiten, in denen Engelmann die Lehre von der myogenen Natur der Reizerzeugung und Reizleitung im Herzen begründet und ausbaut. Die Gesetze über die künstliche Beeinflussung des Herzrhythmus, welche Engelmann im Verlauf dieser Arbeiten fand, haben aber ihre Geltung ganz unabhängig von neurogener oder myogener Theorie. Es scheint mir deshalb nicht begründet, wenn von manchen Autoren hervorgehoben wird, daß nur die myogene Theorie einen Einblick in die Arhythmie gewähre.

traktionsvermögen, das während der refrektären Phase geschwächt war, sich erst allmählich erholt. Die Größe der durch solche künstlichen Reize ausgelösten Zuckungen, „Extrasystolen", nähert sich demgemäß um so mehr derjenigen der Normalzuckungen, je später sie einsetzen.

Auf eine durch Reizung einer Herzkammer ausgelöste Zuckung folgt (mit Ausnahme besonders gelagerter Fälle) eine abnorm lange Pause; der zunächst fällige normale Herzschlag (welcher also fast unmittelbar auf die Extrasystole folgen müßte), fällt aus, dagegen trifft der auf diesen folgende Herzschlag ganz im selben Moment ein, wo er erfolgt wäre, wenn gar keine Störung eingewirkt hätte. Die auf die Extrasystole folgende Pause ist um so viel verlängert, daß der nächstfolgende Puls wieder den normalen Rhythmus fortsetzt, oder, anders ausgedrückt, der letzte normale Puls mit zugehöriger (verkürzter) Pause plus der Extrasystole mit ihrer (verlängerten) Pause sind zusammen ebensolang wie zwei normale Pulse. Man spricht deshalb von der „kompensatorischen Pause" oder, nach Engelmann, von dem „Gesetz der Erhaltung des ursprünglichen Rhythmus".

Die Erklärung dieser kompensatorischen Pause gibt Engelmann in folgender Weise.

Nach jeder Kontraktion befindet sich das Herz im Zustand der refraktären Phase, gleichgültig, wodurch die Kontraktion ausgelöst wurde. Wenn nun kurz nach einer Extrasystole der nächste normale Reiz dem Ventrikel vom Vorhof her zufließt, dann trifft er den Ventrikel noch in diesem refraktären Zustand, bleibt deshalb auf den Ventrikel wirkungslos, und erst der auf ihn folgende normale Reiz wird wieder eine Systole auslösen.

Ebenso wie am Ventrikel, kann der fremde Reiz auch am Vorhof einwirken. Er erregt dann eine vorzeitige Vorhofzuckung, und an diese schließt sich in etwa normalem zeitlichen Intervall eine Ventrikelzuckung an. Auch hier folgt, wenn der Angriffsort des Reizes die unteren Partien des Vorhofs waren, eine kompensatorische Pause, aus ganz analogen Gründen wie bei den ventrikulären Extrasystolen; denn auch der Vorhof hat nach seiner Kontraktion eine refraktäre Phase, wenn sie auch weniger lang dauert als am Ventrikel.

Wird der Reiz aber an der venösen Hälfte des Vorhofs appliziert, dann dauert die Pause meist kürzer (Cushny und

Matthews), zumal wenn der Reiz rasch auf den vorangehenden Herzschlag folgt (H. E. Hering).

Wenckebach sucht den Grund dafür in folgender Überlegung. Der Extrareiz breitet sich vom Vorhof aus nach beiden Richtungen, ventrikelwärts und venenwärts, aus; am Ventrikel erregt er die zur Vorhofskontraktion gehörige Extrazuckung, an den Venenmündungen, wo ja der Entstehungsort der normalen Herzreize gesucht werden muß, wird er nur dann eine Kontraktion zur Folge haben, wenn er hier anlangt, bevor der nächste Spontanreiz wirksam gewesen; in diesem Fall wird auf die Extrakontraktion des Venenendes keine neue Vorhof- und Kammerzuckung folgen, weil diese letzteren jetzt im Zustand der refraktären Phase sind, es wird aber das Venenende selbst nach dieser vorzeitigen Entladung wieder Reizmaterial ansammeln so lange, bis dasselbe mächtig genug geworden, um eine neue Kontraktion auszulösen. Dann vergeht von der Extrakontraktion des Venenendes bis zur neuen Kontraktion ebensoviel Zeit, als zwischen zwei normalen Kontraktionen, Vorhof und Ventrikel folgen auf den neuen Spontanreiz in gewöhnlichem Intervall, und die Pause zwischen dem Extrareiz und der folgenden Zuckung ist an Vorhof und Kammer nur wenig länger als die zwischen zwei normalen Herzschlägen.

Erfolgt dagegen die Extrakontraktion des Vorhofs so spät, daß der von hier fortgeleitete Reiz die Venenmündung erst zu einer Zeit erreicht, wo bereits die folgende Spontanzuckung einsetzte, oder noch später, wo diese schon vorüber und wo dieser Herzabschnitt nun in der refraktären Phase, dann wird am Entstehungsort der normalen Herzreize keine Extrasystole ausgelöst, es bleibt deshalb der ursprüngliche Rhytmus erhalten, und die Extrazuckung von Vorkammer und Kammer ist von einer kompensatorischen Pause gefolgt.

Diese Darstellung gründet sich allerdings auf die Verhältnisse am Kaltblüterherzen, und es mag fraglich sein, ob sie sich auf das Säugetiertierherz übertragen lassen; beim Kaltblüter stellt nämlich das Gebiet der Venenmündungen einen funktionell und anatomisch vom Vorhof deutlich getrennten Herzabschnitt, den Venensinus, dar; beim Säuger besteht keine derartige anatomische Scheidung, und beim normal schlagenden Herzen ist auch keine solche Sonderstellung des Venenmündungsgebietes zu beobachten; wohl aber hat H. E. Hering am absterbenden Herzen derartiges beschrieben, und man muß wohl danach wenigstens die Möglichkeit einer physiologischen Selbständigkeit jener Teile zugeben.

H. E. Hering hat nun zuerst in Tierversuchen gezeigt, daß solche Extrakontraktionen, d. h. verfrühte Zuckungen einzelner Herzabschnitte auch spontan auftreten können, wenn die betreffenden Herzteile besonders angestrengt werden, am einfachsten dadurch, daß man den Ventrikel gegen vermehrten Widerstand arbeiten läßt, also die Aorta oder die Arteria pulmonalis komprimiert. Er sah in diesen Fällen zwischen den

normalen Pulsen einzelne verfrühte einsetzen, und es zeigte sich, daß dieselben dann, wenn die Aorta komprimiert (also der linke Ventrikel überlastet war), zuerst am linken, dann, wenn die Pulmonalis komprimiert war, am rechten begannen; der andere Ventrikel folgte ein kurzes Zeitteilchen später, noch später zuckten die Vorhöfe; die kompensatorische Pause war immer deutlich.

Da nun Knoll u. a. schon lange darauf hingewiesen hatten, daß im Experiment Arhythmie immer dann eintrete, wenn ein Mißverhältnis zwischen der Herzkraft und der zu leistenden Arbeit bestehe, und daß als erste Erscheinungen der Arhythmie solche verfrühte Systolen erscheinen, lag es nach den Heringschen Versuchen nahe, zu forschen, ob nicht auch die Arhythmien am kranken Menschen, die ja zumeist auch dann entstehen, wenn die Kraft des Ventrikels zu schwach zu der Leistung ist, solche Extrasystolen erkennen lassen.

Schon vor Hering hatte Wenckebach darauf hingewiesen, daß Extrasystolen im Engelmannschen Sinn gar nicht selten beim Menschen vorkommen, meist unregelmäßig eingestreut in den sonst normalen Rhythmus, und daß die meisten Fälle von scheinbarem Ausfallen eines Pulsschlages sich durch solche Extrasystolen erklären lassen; tatsächlich kann man ja durch Auskultation am Herzen, oft auch schon durch genaue Aufzeichnung der Pulskurve in den meisten derartigen Fällen leicht zeigen, daß ganz kurz nach der vorangehenden Kontraktion eine verfrühte Herzkontraktion während der Intermittenz statt hat; sie führt offenbar nur deshalb nicht zu einem fühlbaren Pulsschlag, weil sie zu schwach war, und weil das Herz sich noch nicht wieder genügend mit Blut gefüllt hatte. Da wo diese kleine Herzkontraktion zwar immer noch verfrüht, aber doch nicht unmittelbar nach der vorangehenden Systole einsetzt, ist der Pulsschlag in der Regel deutlicher.

Nach Wenckebach und Hering ist das häufige Vorkommen von Extrasystolen bei den Arhythmien des kranken Menschen von einer großen Zahl von Klinikern bestätigt worden.

Als Kriterium der Extrasystole gilt folgendes. Bei der Auskultation hört man in auffallend kurzem Zeitintervall nach dem vorangehenden Herzschlag entweder nur einen (ersten) Ton oder zwei Töne, die dann aber deutlich rascher aufeinander

folgen als die Töne einer normalen Herzaktion. Man kennt die Erscheinung seit lange, sie wurde als überstürzte Herzaktion, als Stolpern des Herzens beschrieben. Ein weiteres Kennzeichen der Extrasystole ist in einer Reihe von Fällen die kompensatorische Pause. Namentlich die ersten Untersucher haben großen Wert auf dies Phänomen gelegt. Da es einerseits nicht bei allen Extrasystolen auftritt, andrerseits auch gelegentlich bei anders bedingten Herzarhythmien beobachtet wird, ist sein Wert jetzt geringer, und es ist jedenfalls nur in Verbindung mit dem erwähnten Auskultationsphänomen brauchbar. Wichtiger ist die Tatsache, daß der auf die Pause folgende normale Herzschlag (mag die Pause eine wirklich kompensatorische oder mag sie kürzer gewesen sein) abnorm kräftig ist und auch einen abnorm kräftigen Puls bedingt.

Extrasystolen finden sich vorwiegend in dreierlei Weise: sporadisch eingestreut zwischen sonst regelmäßige Herzschläge, ferner in regelmäßigem Wechsel mit normalen Herzschlägen, als Pulsus bigeminus oder bei weiterer Häufung als Pulsus tri- und quadrigeminus, endlich gehäuft in ganz regelloser Weise bei vollkommener Arhythmie, dem sog. Delirium cordis. Während bei der Bigeminusgruppe und oft auch da, wo nur ab und zu eine Extrasystole auftritt, die Art der Extrasystole, d. h. der Abstand von der vorangehenden Herzkontraktion und damit die Größe des Extrapulses, konstant bleibt, folgen sich beim völlig arhythmischen Puls normale und Extrasystolen jeder Art in buntem Wechsel, bald ist nur eine, bald eine ganze Reihe von Extrasystolen zwischen die normalen Zuckungen eingeschaltet, sie können dann wieder unter sich gleich groß sein oder ganz verschiedene Größe haben, kurz durch verschiedene Kombination von Extrasystolen kann sehr wohl ein scheinbar jeder Regel spottendes Delirium cordis erzeugt werden.

Es ist zuzugeben, daß man bei diesen Formen von Delirium cordis nicht für jeden einzelnen Puls den sicheren Beweis der Extrasystole bringen kann, und daß die Auffassung, wonach das Delirium cordis lediglich durch Extrasystolen zustande kommen soll, z. T. nur auf Analogie- oder auf Exklusionsschlüssen aufgebaut ist.

Anders beim typischen Pulsus bigeminus und bei den sporadischen Extrasystolen. Hier hat das genauere Studium noch

eine Reihe von Einzelheiten kennen gelehrt, in denen die Ähnlichkeit mit den am Tierherzen willkürlich erzeugten Extrasystolen besonders deutlich zutage tritt, und gerade hierdurch ist die Berechtigung, diese klinischen Formen wirklich auf solche Vorgänge zurückzuführen, noch immer mehr befestigt worden.

So wie im Tierexperiment Extrasystolen sowohl durch Erregung des Ventrikels als durch Erregung des Vorhofs erzeugt werden können, so kann man auch beim Menschen leicht diese doppelte Entstehungsmöglichkeit zeigen. Maßgebend ist hier das Verhalten des Venenpulses.

An den Undulationen der Halsvenen, wie man sie bei vielen Leuten ständig, bei anderen wenigstens bei geeigneter Körperhaltung (Liegen mit seitwärts gewendetem Kopf) beobachten

Figur 1. Bei *A* eine aurikuläre Extrasystole, welcher am Venenpuls die deutliche präsystolische Welle *A* vorangeht.

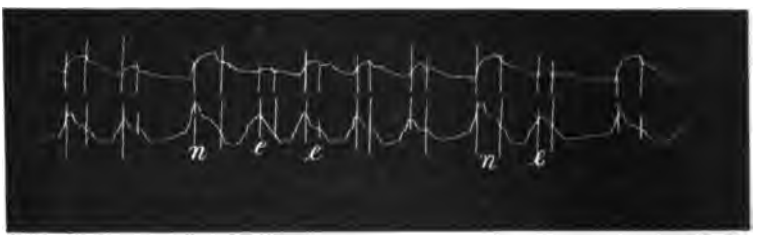
kann, nimmt man gewöhnlich dreierlei Erhebungen wahr: eine dem Arterienpuls vorangehende, präsystolische (a), bedingt durch die Kontraktion des Vorhofs, eine mit dem Arterienpuls gleichzeitige und von der Karotis her fortgeleitete Erhebung (c), und eine zu Beginn der Diastole (d), deren Deutung noch umstritten ist.

Von diesen drei Venenzacken kommt hier nur die erste, die präsystolische, in Betracht; freilich macht ihre Erkennung gerade bei unregelmäßigen Pulsschlägen manchmal Schwierigkeiten.

Aurikuläre Extrasystolen. Am klarsten liegen die Verhältnisse bei jener Form, wo der abnorme Reiz auf den Vorhof eingewirkt hat, dem aurikulären Typus der Extrasystole. Hier sieht man der kleinen Arterienwelle eine Vorhofswelle am Venenpuls vorangehen und zwar in annähernd demselben Abstand, wie zwischen den normalen Venen- und Arterienpulsen (vgl. Figur 1).

Für die Beurteilung des zeitlichen Verhältnisses von Venen- und Arterienkurven ist bei den Extrasystolen folgender Punkt zu beachten.

Der Arterienpuls erscheint bekanntlich ein kurzes Zeitteilchen nach dem Beginn der Ventrikelkontraktion; dieses Zeitteilchen braucht der Ventrikel, um seinen Binnendruck so weit zu steigern, daß er den Aortendruck erreicht. Bei normalen Pulsen beträgt diese Zeitdifferenz zwischen Ventrikelzuckung und Arterienpuls, die „Anspannungszeit" des Herzens, etwa $^3/_{100}$ Sekunde; bei den Extrasystolen ist sie wesentlich größer. Der Grund dafür liegt vermutlich darin, daß die schwache Extrasystole den Binnendruck an sich langsamer steigert, und daß zudem der Aortendruck zur Zeit des verfrühten Herzschlags



Figur 2 a. Die Extrapulse *e* erscheinen an der Karotis wesentlich später nach Beginn des Spitzenstoßes als die normalen Pulse *n*. — Fall von chron. Nephritis.

noch minder weit gesunken ist als zur Zeit eines normalen Pulses. Beide Momente wirken zusammen dahin, daß der Puls einer Extrasystole verspätet erscheint. Beim Vergleich des Venenpulses mit dem Karotispuls muß man bei den Extrasystolen mit dieser „Extraverspätung" rechnen. Man findet deshalb die Distanz zwischen Vorhofs-(Venen-)puls und Arterienpuls beim aurikulären Typus der Extrasystole abnorm lang (vgl. Figur 1), während in dem später zu besprechenden umgekehrten Fall, wo sich der Zuckungsreiz vom Ventrikel auf den Vorhof retrograd fortpflanzt, die Distanz zwischen beiden Wellen fast ganz verschwindet.

Zur Illustrierung dieser „Extraverspätung" mögen die Kurven 2a und 2b dienen, auf welchen normale (n) und Extrasystolen (e) unregelmäßig wechseln.

Die Venenkurve zeigt in diesem Fall noch eine Besonderheit, die

ich sonst weder beobachtet noch beschrieben gefunden habe. Die den Extrasystolen vorangehenden Venenpulse zeigen sich durch besondere Steilheit und Größe aus. Da sie meistens in jene Phase fallen, wo der Arterienpuls eben vorbei, wo also der Ventrikel sich erweitert, besteht

Figur 2 b. Unterschiede des Intervalls zwischen Venen- und Arterienpuls bei normalen *(n)* und Extrasystolen *(e)*. — Derselbe Fall.

jedenfalls kein Abflußhindernis des Vorhofsblutes. Man ist versucht, an eine qualitative Änderung in der Art der Vorhofsaktion zu denken, ähnlich, wie sie von Quincke und Hochhaus für verfrühte Ventrikelsystolen unter dem Namen der frustranen Kontraktionen beschrieben sind, Erscheinungen, die sicher zum Gebiet der Extrasystolen gehören.

Figur 3. Nach je 2 Schlägen bei *A* eine Extrasystole von aurikulärem Typus.

Solche aurikulären Extrasystolen kommen bald sporadisch, bald in regelmäßiger Wiederkehr nach jedem normalen Schlag (Pulsus bigeminus perpetuus) oder nur nach jedem zweiten (vgl. Figur 3), dritten etc. Schlag vor, bald in gehäufter und ganz unregelmäßiger Anordnung (Figur 2). Wenn sich mehrere aneinanderreihen, entsteht das Bild des Pulsus trigeminus, quadrigeminus etc. (vgl. Figur 4).

Manchmal entsteht eine gewisse Schwierigkeit in der Analyse dieser aurikulären Extrasystolen dadurch, daß die zuge-

hörige Vorhofswelle am Venenpuls sich nicht recht von der letzten Welle, die noch durch den vorangehenden Herzschlag bedingt war, abhebt. Das ist dann der Fall, wenn, was praktisch offenbar ziemlich häufig eintritt, die verfrühte Vorhofszuckung unmittelbar nach dem Ende der vorangegangenen

Figur 4. Ein vereinzelter P. trigeminus (bei *tr*). Jedem arteriellen Puls geht eine präsystolische (der Vorhofskontraktion entsprechende) Venenerhebung voraus.

Kammersystole einsetzt. Dann kann man gelegentlich im Zweifel sein, ob die dem kleinen Arterienpuls unmittelbar vorangehende Venenwelle die dritte (diastolische) Venenzacke der letzten normalen oder die präsystolische Welle der Extrakontraktion darstellt. Meist wird man aber im letzteren Fall doch finden, daß die Größe dieser Welle die der entsprechenden diastolischen Wellen

Figur 5. Bei *x* aurikuläre Extrasystole; die Vorhofswelle *A* fällt mit der diastolischen Welle des vorausgehenden Pulses zusammen.

an den anderen Pulsen zwar nicht immer sehr beträchtlich, aber doch so weit übersteigt, daß man sie leicht auf Summation der diastolischen mit der (natürlich ziemlich kleinen) präsystolischen Extrawelle zurückführen kann (vgl. Figur 5).

Ventrikuläre Extrasystolen. Etwas weniger häufig als der bisher besprochenen aurikulären Form begegnet man derjenigen, wo die abnorme Zuckung vom Ventrikel ausgeht. Hier

geht dem verfrühten kleinen Arterienpuls keine solche präsystolische Venenwelle voran, dagegen zeigt der Venenpuls meistens eine andere, sehr ins Auge fallende Anomalie: kurz nach oder auch schon während dem kleinen Arterienpuls schwillt die Vene ganz auffallend rasch und stark an, etwa so, wie man es bei Trikuspidalinsuffizienz zu sehen gewohnt ist. Diese hohe steile Venenzacke kann auf zweierlei Weise zustande kommen. Der erste Modus ist folgender: Wenn die ventrikuläre Extrasystole nur um ein kurzes Zeitteilchen früher erfolgt, als die normale Ventrikelzuckung stattfinden würde, dann fällt sie noch in die Zeit, wo der Vorhof seine fällige normale Kontraktion vollführt; der Vorhof kann nun aber seinen Inhalt nicht wie unter normalen Verhältnissen in den Ventrikel entleeren, das Blut staut

Figur 6. Aorteninsuffizienz. Bei x ventrikuläre Extrasystolen mit hohen steilen Venenwellen.

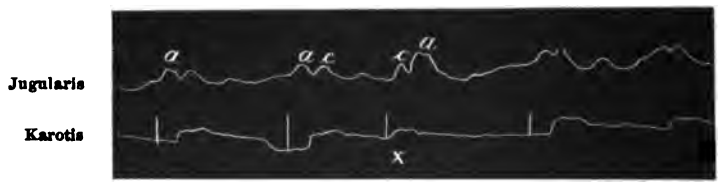
sich in der Vene und bringt diese, zeitlich mit dem Arterienextrapuls zusammenfallend, zu raschen steilen Anschwellen. — Auf diese Extrasystole folgt dann die kompensatorische Pause, der nächstfolgende Herzschlag zeigt wieder Vorhof- und Ventrikelzuckung im normalen zeitlichen Verhältnis (vgl. Figur 6).

Fällt die verfrühte Ventrikelzuckung merklich vor die Zeit der normalen Vorhofkontraktion, dann kann man an der Venenkurve wieder deutlich die systolische Zacke des Extrapulses und kurz danach die Vorhofswelle erkennen; die letztere zeigt dann jene eigentümlich steile, hohe Form nicht und ist nur dann, wenn die Extrakontraktion der Kammer noch nicht völlig abgeklungen war, etwas größer als die sonstigen Vorhofswellen (vgl. Figur 7).

Retrograde Extrasystolen. Anders, wenn die Ventrikelextrasystole noch dichter nach dem vorangehenden Herzschlag

erfolgt. Dann kann es passieren, daß sich die abnorme Erregung vom Ventrikel nach dem Vorhof fortpflanzt und auch hier eine verfrühte Zuckung auslöst. Da der Ventrikel zur Zeit dieser retrograd erzeugten Vorhofszuckung noch nicht wieder völlig erschlafft ist, kann der Vorhof seinen Inhalt nicht in den Ventrikel entleeren und erzeugt deshalb wieder eine abnorm steile und hohe Rückstauungswelle in den Venen. Diese unterscheidet sich von dem vorigen Typus dadurch, daß sie früher erfolgt, als die nächste fällige Vorhofzuckung zu erwarten gewesen wäre.

Der eben besprochene retrograde Typus der ventrikulären Extrasystole ist ferner dadurch ausgezeichnet, daß hier das Gesetz von der Erhaltung der ursprünglichen Schlagfolge nicht zutrifft. Und das ist leicht verständlich. Jenes Gesetz gründet



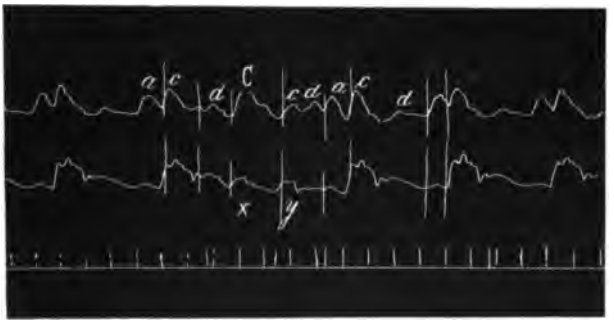
Figur 7. Bei x ventrikuläre Extrasystole, an der Venenkurve folgt die normale Vorhofswelle a auf die systolische Extrawelle c.

sich nach Engelmanns Darlegung darauf, daß trotz der Unregelmäßigkeit der Kammerpulse der Vorhof im alten Rhythmus weiterschlägt; bei der retrograden Erregung tut er das aber nicht oder wenigstens nur ausnahmsweise (wenn nämlich die retrograd ausgelöste Zuckung gerade mit der spontanen Zuckung zusammenträfe), sondern schlägt verfrüht; er wird nun die nächstfolgende Spontankontraktion dann ausführen, wenn er wieder genügend Reizmaterial angesammelt hat, d. h. die nächste Kontraktion ist von der retrograd erzeugten ebenso weit entfernt, als die Dauer eines normalen Pulses beträgt, zur Entstehung einer kompensatorischen Pause besteht keine Veranlassung.

Die nebenstehende Figur 8 repräsentiert einen solchen Fall bei x. Nur besteht hier noch eine Komplikation dadurch, daß zwischen die retrograde Extrasystole und die nächste Normalzuckung noch ein Arterienpuls a fällt. Dieser zweiten kleinen Arterienwelle entsprechen an der Vene nur zwei kleine Zacken,

die am einfachsten als die gewöhnlich systolische und diastolische Venenwelle gedeutet werden. Danach ist die zweite kleine Arterienwelle aufzufassen als eine einfach zwischengeschaltete (interpolierte) Extrasystole (vgl. später), oder sie könnte, wie das Rihl im Tierexperiment und Pan an einem klinischen Fall beobachtet haben, dadurch erzeugt sein, daß sich von der retrograd entstandenen Vorhofszuckung der Zuckungsreiz wieder ventrikelwärts ausbreitet und hier eine zweite Ventrikelzuckung hervorrief.

Interpolierte Systolen. Wieder anders gestalten sich die Dinge, wenn aus irgendeinem Grund jener abnorme Reiz, der eine sehr verfrühte Ventrikelextrasystole erregt hat, sich

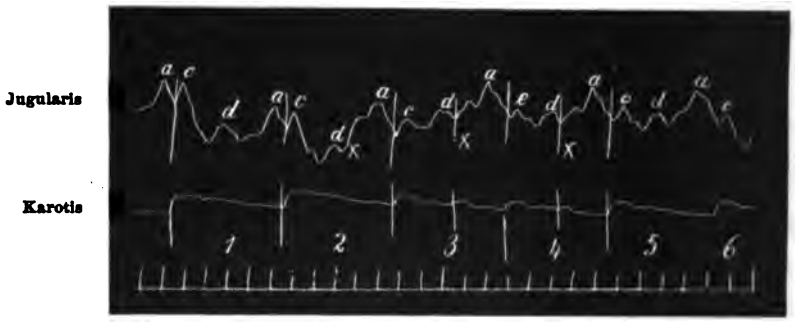


Figur 8. Bei x gleichzeitig mit der verfrühten Arterienwelle eine große, steile Venenerhebung C, unmittelbar danach bei y eine zweite kleine Arterienwelle, welcher nur ein viel kleinerer Venenstoß entspringt.

nicht auf den Vorhof fortpflanzt. Dann erleidet der Rhythmus der Vorhofkontraktionen keinerlei Veränderung. Seine nächste Spontanzuckung erfolgt deshalb ganz kurze Zeit nach jener verfrühten Ventrikelzuckung. Ist nun in diesem Moment der Ventrikel nicht mehr im Zustand der refraktären Phase, und ist Kontraktions-, Anspruchsfähigkeit, Reizleitungsvermögen wieder hergestellt, dann folgt auf diese normale Vorhofzuckung die zugehörige Kammerzuckung ganz in demselben Moment, wo sie auch ohne jene Extrasystole stattgefunden hätte.

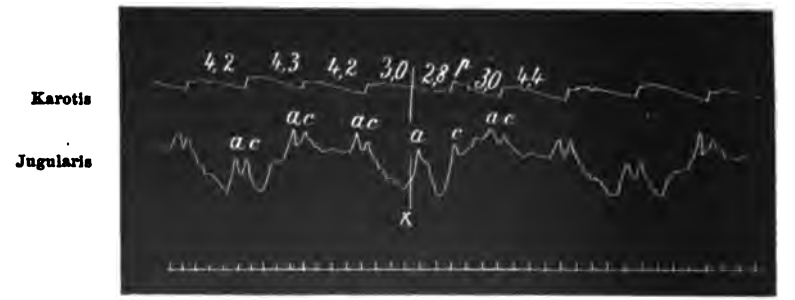
Trifft in solchem Fall, wie in Kurve 9 bei a die kleine Extrawelle am Arterienpuls gerade in die Mitte zwischen beide normale Pulswellen, dann erinnert das Pulsbild der Arterie sehr an das des Pulsus alternans, während das der Vene, zumal der

Vergleich mit den normalen Venenpulsen alsbald Klarheit bringt. Ist dagegen die refraktäre Phase des Ventrikels noch nicht ganz abgeklungen und ist speziell die Fähigkeit der Reiz-



Figur 9. Interpolierte Extrasystolen. Der 1. und 5. Schlag normal; beim 2. erscheint in der Diastole eine (4.) Venenwelle x, beim 3. und 4. Puls auch gleichzeitig ein kleiner Karotispuls eingeschaltet.

leitung noch geschwächt, dann tritt die auf die Extrasystole folgende Ventrikelzuckung verspätet ein, trotzdem die zugehörige Vorhofskontraktion rechtzeitig erfolgte. Dadurch erfährt die



Figur 10. Bei x interpolierte Extrasystole; während die Vorhofswellen a der Vene ganz regelmäßig aufeinander folgen, erscheint die nach der Extrasystole folgende Karotiswelle p deutlich verspätet, ebenso die ihr entsprechende systolische und diastolische Venenzacke.

Venen- und Arterienpulskurve eine eigentümliche Veränderung (s. Figur 10). An der Arterie ist der nächste Puls nach der Extrasystole scheinbar verkürzt (weil er näher an seinen Nachfolger herangerückt ist); an der Vene wird die nach der Extrasystole kommende Vorhofswelle durch ein auffallend tiefes und

breites Tal von der zugehörigen systolischen und diastolischen Welle geschieden.

Die eben besprochenen interpolierten haben mit den vorhin erörterten retrograden Systolen gemeinsam das Fehlen der kompensatorischen Phase, trotzdem die Extrasystole eine systolische ist. Da für das Zustandekommen beider Phänomene Vorbedingung ist, daß die Extrasystole einerseits ein beträchtliches Zeitteilchen vor der folgenden normalen Vorhofzuckung, andererseits doch erst nach dem Abklingen der refraktären Phase einsetze, ist es leicht verständlich, daß sie leichter bei langsamem Herzschlag vorkommen. Tatsächlich beziehen sich die bisher veröffentlichten Beobachtungen (von Wenckebach, Volhard, Pan) ebenso wie meine eigenen durchweg auf Fälle mit langsamem Puls.

Die angeführten fremden und eigenen Beobachtungen zeigen, daß den Extrasystolen eine große Rolle zukommt bei der Entstehung der Herzarhythmien. Über die näheren Vorgänge kann man sich bis jetzt leider nur etwas vage Vorstellungen machen. Wenn man mit Knoll annimmt, daß das Herz dann zu Unregelmäßigkeit der Schlagfolge neigt, wenn der Muskel relativ zu schwach ist für den zu überwindenden Druck, wird man, zumal bei den ventrikulären Formen, in der Einwirkung des relativ zu starken Binnendruckes auf den Muskel die Ursache der abnormen Erregung suchen können; da aber nicht jede Drucksteigerung Arhythmie erzeugt, wird man eine Prädisposition zur Arhythmie, ein abnorm leichtes Ansprechen des Herzens auf solchen Reiz annehmen müssen, eine Erniedrigung der Reizschwelle für mechanische Reize (positiv bathmotrope Störung). Eine Stütze dieser Auffassungsweise scheinen die Versuche von Brandenburg zu bilden, der an Froschherzen zu zeigen suchte, daß das Herz unter Digitaliswirkung, also unter Verhältnissen, wo pathologische Arhythmien oft verschwinden, gegen äußere Reize minder empfänglich werde. Daneben glaubt Brandenburg allerdings auch das Einwirken von inneren, in der Herzwand selbst entstehenden Reizen als Ursache von Extrasystolen annehmen zu sollen, und zwar soll häufig mit der Abnahme der Empfänglichkeit für äußere eine Steigerung der Empfänglichkeit für solche inneren Reize einhergehen.

Nach Herings und Pletnews Untersuchungen scheinen diese komplizierten Dinge indes noch wenig spruchreif.

Arhythmien, die nicht durch Extrasystolen bedingt sind. Ist nun tatsächlich weitaus die größte Zahl der Herzarhythmien durch Extrasystolen bedingt, so bleibt doch eine kleinere Gruppe sowohl von sporadischer wie von kontinuierlicher Arhythmie übrig, in denen diese Deutung versagt. Hier muß vielmehr eine andere Kategorie von Störungen des Herzrhythmus zur Erklärung herangezogen werden, Störungen, deren Kenntnis wiederum den neueren physiologischen Forschungen, vor allem den Arbeiten von Engelmann und seinen Schülern zu verdanken ist.

Diese zweite Gruppe von Störungen findet sich in Tierversuchen einerseits am absterbenden oder durch veränderte Außenbedingungen (Wärme, Feuchtigkeit) geschädigten Herzen, andererseits bei reflektorischer Erregung der Herznerven. Engelmann hat gezeigt, daß die Abweichungen von der Norm, welche das Herz unter solchen Umständen darbieten kann, sich zurückführen lassen auf viererlei Erscheinungen: die Kontraktionsenergie, die Zeitfolge der Kontraktion, die Reizleitung vom Entstehungsort des Reizes (Veneneinmündung) auf Vorhof und Kammer und endlich die Erregbarkeit („Anspruchsfähigkeit") des Herzens können jede für sich oder in verschiedenster Kombination vermehrt oder vermindert sein. Durch subtile Registrierung von Vorhofs- und Kammerpuls und durch scharfsichtige Analyse kann Engelmann feststellen, welche von jenen 4 Herzfunktionen und in welchem Sinne sie im einzelnen Fall verändert sei.

Engelmanns klinischer Schüler Wenckebach hat sich bemüht, zu zeigen, daß all diese Formen von Rhythmusstörungen (oder doch die eine Hälfte derselben, nämlich die Beeinträchtigung all dieser Funktionen) auch am Krankenbett beobachtet werden können. Wenn hier auch noch nicht alle Fälle unumstritten sind, so kann man doch gewisse Typen bezeichnen, in denen die Engelmannsche Betrachtungsweise mindestens eine außerordentlich plausible Erklärung liefern.

Störungen der Reizleitung. Dahin gehören zunächst jene seltenen Fälle von paroxysmaler Bradykardie oder Adams-Stokesscher Krankheit, bei denen anfallsweise unter mehr oder weniger starken Ohnmachtserscheinungen der Ventrikel in ganz auffallend langsamem Tempo schlägt, 15—20mal in der Minute,

ja für Viertels- oder halbe Minuten ganz aussetzen kann. Bei solchen Fällen ist zuerst von His, nach ihm auch von anderen beobachtet worden, daß während des langsamen Arterienpulsschlages die Jugularvenen in viel schnellerem Rhythmus pulsieren; in der Weise, daß nur jeder 4. bis 6. Venenpuls von einem Karotispuls und Herzschlag gefolgt ist. Die graphische Aufzeichnung hat ferner, wie ich an einem Fall bestätigen konnte, gezeigt, daß nicht nur nach der Mehrzahl der Venenpulse der zugehörige Ventrikelpuls ausbleibt, sondern daß auch die seltenen Ventrikelpulse durch ganz verschieden lange Intervalle von dem vorangehenden Venenpuls getrennt sind. Es handelt sich also nicht nur darum, daß die Kammer die meisten ihr zufließenden Reize unbeantwortet läßt und etwa nur auf jeden 4. oder 6. Reiz reagiert, sondern es schlagen offenbar die Kammern gänzlich unabhängig von den Vorkammern.

Ein solcher Zustand ist von Gaskell zuerst am absterbenden Tierherzen beobachtet und als „Herzblock", Verlegung der Kommunikation zwischen Vorhof und Kammer, beschrieben worden.

Die moderne Physiologie nimmt an, daß jedem Herzabschnitt die Fähigkeit rhythmischer Kontraktion innewohnt, daß dieser spontane Rhythmus aber an der Kammer ein langsamerer ist als an der Vorkammer und hier immer noch langsamer als an jener Stelle, wo die normalen Herzreize entstehen; da aber die am venösen Ende des Herzens gebildeten Reize sich durch das ganze Herz fortpflanzen und hier überall (sekundäre) Kontraktionen auslösen, so kommt die dem Kammermuskel innewohnende Fähigkeit zu automatischer Zuckung für gewöhnlich gar nicht zur Geltung; sie kann sich nur dann dokumentieren, wenn unter ganz abnormen Umständen eine Fortpflanzung der Reize von den venösen Herzteilen auf den Ventrikel unmöglich ist.

Bei der paroxysmalen Bradykardie scheint nun tatsächlich ein solcher Fall vorzuliegen; wenigstens lassen sich die angeführten Beobachtungen am ungezwungensten so erklären, daß das Herz zeitweise die Fähigkeit verliert, die Reize von den Vorhöfen auf die Kammern fortzuleiten, und daß deshalb die Kammern nun unabhängig von den Vorhöfen in ihrem eigenen langsamen (wohl auch noch pathologisch verlangsamten) Rhythmus schlagen. In der Engelmannschen Terminologie wäre nach dieser Auffassung die paroxysmale Bradykardie zu bezeichnen als ein Fall von negativ dromotroper Störung des Herzschlags.

Wenn das Leitungsvermögen nicht ganz aufgehoben, sondern

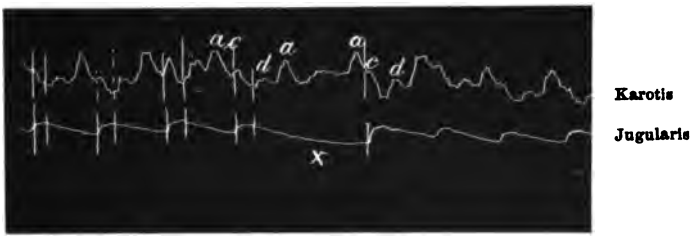
nur herabgesetzt ist, dann kommt es, wie Wenckebach an 4 Fällen zeigen konnte, zu einer eigentümlichen Form von Arhythmie oder besser Allorhythmie. Während normalerweise nach jeder Systole das Leitungsvermögen zwar sehr stark herabgesetzt wird (refraktäre Phase), sich aber rasch wieder herstellt, geschieht bei der in Rede stehenden Störung diese Wiederherstellung unvollkommen, nach jeder Systole ist das Reizleitvermögen geringer als nach der vorausgehenden, und nach einer Anzahl von Systolen ist es so sehr geschwächt, daß der Reiz den Ventrikel überhaupt nicht mehr erreicht, es kommt zu einem Ausfall der Kammerzuckung; während der dadurch bedingten langen Pause erholt sich nun das Leitungsvermögen, beim nächsten Herzschlag zuckt der Ventrikel kurz nach dem Vorhof, beim darauffolgenden aber schon wieder verspätet, und diese Verspätung nimmt gradatim zu, bis nach einer Anzahl von Schlägen eine neue Intermittenz kommt und das Spiel von neuem beginnt.

Nach Wenckebachs Darlegungen muß dieser Typus durch einen regelmäßigen Wechsel in der Dauer der Pulslängen charakterisiert sein, und in der Tat entsprechen die von ihm mitgeteilten Fälle genau diesem Postulat. Wenckebach selbst stützt seine Deduktionen nur auf die Zeitverhältnisse der Arterienpulse. Der Nachweis, daß die gleichzeitige Registrierung des Venenpulses bei einem solchen Fall tatsächlich ein Zunehmen des Intervalls zwischen Vorhof- und Kammerzuckung bis zur nächsten Intermission hin zum Ausdruck bringt, ist kürzlich von Belski erbracht worden. Wenckebachs Fälle betrafen Herzstörungen bei Nervösen, bei Urämie, beim senilen Herzen, der Fall von Belski eine Arhythmie nach Digitalis.

Ein weiterer ziemlich gut zu übersehender Fall von Störung der Reizleitung vom Vorhof zur Kammer wurde oben erwähnt bei der Besprechung der interpolierten Extrapulse. Bei dieser Erscheinung findet sich unter Umständen eine abnorm lange Pause zwischen Vorhof- und Ventrikelpuls an den unmittelbar nach der Extrasystole folgenden Herzschlägen, offenbar als Ausdruck einer ungenügenden Wiederherstellung des Reizleitungsvermögens im Anschluß an die kurze vorangehende Zuckung; die refraktäre Phase für die Leitungsfähigkeit dauert länger als die für Anspruchsfähigkeit und Zuckungsvermögen.

Bathmotrope Störungen. Eine andere Form von Herzarhythmie stellen jene seltenen Fälle dar, wo ein Ventrikelpuls tatsächlich ausfällt, während die Vene ganz regelmäßig weiterpulsiert; wo aber weder die verschiedene Dauer der Einzelpulse noch die Distanz zwischen Vorhof- und Kammerzuckung auf eine Störung der Reizleitung in der vorhin besprochenen Weise hindeutet. Ich habe früher einen solchen Fall beschrieben, in dem nach jedem 3. oder 4. Herzschlag der Arterienpuls ausblieb, indes die Vene im alten Rhythmus weiterschlug. Figur 11 zeigt dasselbe Verhalten als sporadisches Vorkommnis bei einem ziemlich gut kompensierten Mitralfehler.

Da hier sonst kein Zeichen dafür spricht, daß der Reiz, welcher den Vorhof ja noch zur richtigen Zeit traf, nicht auf



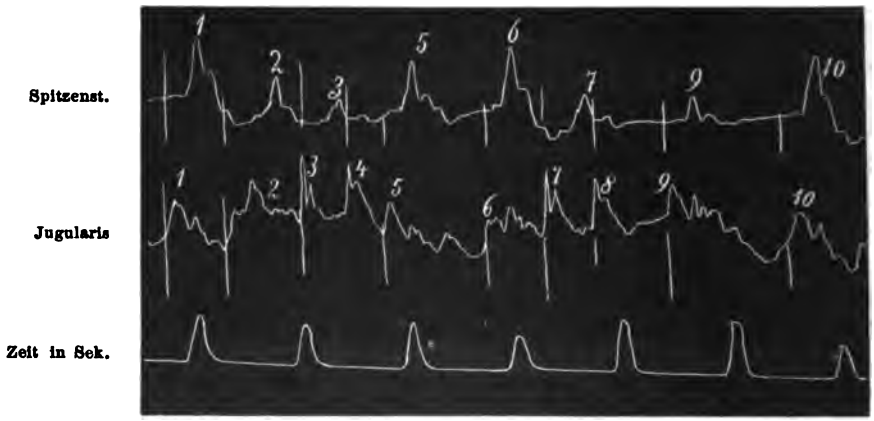
Figur 11. Bei x fällt der Arterienpuls vollkommen aus, die Vorhofszacke der Vene findet sich aber ganz an der normalen Stelle.

den Ventrikel weitergeleitet wurde, liegt es näher, hier an eine Störung der Anspruchsfähigkeit des Ventrikels zu denken, an eine „bathmotrope" Störung nach Engelmann.

Für jenen Fall, wo diese Störung sich nach jedem 3. bis 4. Schlag geltend machte, hätte man dann anzunehmen, daß die Anspruchsfähigkeit des Herzens im ganzen vermindert (der Schwellenwert des Reizes, welcher zu einer Zuckung führt, erhöht) sei. In der Norm wird diese Anspruchsfähigkeit zwar durch jede Systole vorübergehend aufgehoben, aber sie kehrt rasch zurück und ist zur Zeit des folgenden Reizes wieder ganz hergestellt; unter jenen krankhaften Umständen geht diese Erholung langsamer von statten; der folgende Reiz reicht zwar zunächst noch aus, eine Zuckung auszulösen; beim nächstfolgenden oder übernächsten Reiz ist der Ventrikel aber noch nicht genügend weit erholt, seine Reizschwelle ist noch relativ zu hoch, und er reagiert nicht, hat aber während der dadurch geschaffenen langen Pause Zeit, sich genügend zu erholen. Daß die einzelnen Kontraktionen, trotzdem der Muskel verschieden reizbar ist, doch gleich kräftig ausgeführt werden, liegt daran, daß eben nur die Anspruchsfähigkeit, nicht die Kontraktionsfähigkeit an sich geschädigt ist,

und nach dem „Alles- oder Nichtsgesetz“ zieht sich ja das Herz, wenn es auf den Reiz überhaupt reagiert, mit der in diesem Moment größtmöglichen Kraft zusammen.

Schließlich mag die Figur 12 als Beispiel dafür dienen, daß es auch bei ganz unregelmäßigem Herschlag mitten zwischen Extrasystolen vorkommen kann, daß die zu einem gut an der Vene ausgeprägten Vorhofschlag zugehörige Kammerzuckung ausbleibt. Ob dromotrope, ob bathmotrope Störung zugrunde liegt, ist unter diesen Verhältnissen, wo jeder Anhaltspunkt aus den anderen Pulsen fehlt, natürlich nicht zu entscheiden.



Figur 12. Völlig unregelmäßiger Puls; bei d r 4. und 8. Vorhofswelle fehlt die zugehörige Erhebung des Spitzenstoßes.

Inotrope Störungen. Eine andere Kategorie von Störungen des Herzschlags bilden nach Engelmanns physiologischen Studien die Fälle, wo zwar die Reizbarkeit intakt geblieben, wo aber die Kraft der Kontraktion vermindert ist (inotrope Störung).

Auch hierfür scheint es Analogien in der menschlichen Pathologie zu geben; es ist die seit lange bekannte Erscheinung des Pulsus alternans. Beim reinen Alternans wechselt in gleichmäßigem Intervall ein großer und ein kleiner Puls, und es liegt nahe, für diesen Wechsel in einer Weise, welche der für die bathmotrope Störung durchgeführten ganz entspricht, einen ständigen Wechsel in Abnahme und Wiedererholung des Kontraktionsvermögens anzunehmen.

Dieser Pulsus alternans ist aber recht selten. Beispiele von Radialissphygmogrammen, welche einen typischen Wechsel zwischen größeren und kleineren, aber durch gleiche Zeitabschnitte getrennten Pulsen darstellen, gibt es zwar des öfteren; aber Hering hat mit Recht darauf hingewiesen, daß es sich hierbei ganz gewöhnlich um Extrasystolen handelt, die nur wegen der „Extraverspätung" scheinbar an der Stelle des nächsten normalen Pulses liegen; diese Extraverspätung kommt, wie früher auseinandergesetzt, dadurch zustande, daß die Anspannungszeit bei diesen verfrühten, unkräftigen Systolen abnorm lang dauert. Durch die Kontrolle des Spitzenstoßes oder des Venenpulses, aber auch schon durch Auskultation am Herzen kann man in diesen Fällen die Natur der Extrasystolen leicht feststellen.

Der wahre Pulsus alternans ist offenbar recht selten. Hering gibt an, neuerdings einen Fall beobachtet zu haben, und auch Mackenzie hat solche Fälle abgebildet; mir selbst ist noch keiner vorgekommen. Interessanterweise sah Straub gelegentlich Pulsus alternans am Säugetierherzen nach Digitalisvergiftung.

Eine andere Gruppe von Arhythmie infolge Änderung des Kontraktionsvermögens bilden nach den Ausführungen von August Hoffmann die Fälle von paroxysmaler Tachykardie, jener merkwürdigen Krankheit, die sich durch anfallsweises Auftreten von sehr frequenter Herzaktion, meist mit starkem Herzklopfen und mit anderen subjektiven Beschwerden verbunden, äußert. Während es sich aber bei allen bisher besprochenen Arhythmieformen (mit Ausnahme der Extrasystolen) um Schädigung der Leitungs- oder Kontraktionsfähigkeit des Herzens handelt, muß man bei der paroxysmalen Tachykardie eine Steigerung des Zuckungsvermögens annehmen.

Die meisten neueren Autoren führen die Tachykardie nicht auf derartige Einflüsse, sondern auf gehäufte Extrasystolen zurück. Demgegenüber wies Hoffmann darauf hin, daß die Pulszahl im Anfall regelmäßig doppelt so hoch ist als vorher, und daß beim Beginn des Anfalles der neue Rhythmus nicht plötzlich, sondern allmählich einsetzt, in der Weise, daß zwischen zwei normalen Systolen kleine zwischengeschaltete Pulse auftreten, deren Größe bei den nächsten Kontraktionen rasch wächst und bald die der Normalsystolen erreicht. Er glaubt

zur Erklärung dieser Erscheinungen annehmen zu müssen, daß dem Herzen schon normalerweise die doppelte Anzahl von Reizen zufließen, daß es aber nur auf jeden zweiten anspreche und nur unter besonders begünstigenden Umständen, wie eben bei der paroxysmalen Tachykardie, in die Lage komme, auf jeden Reiz mit einer Zuckung zu antworten.

Wie ich an anderer Stelle ausgeführt habe, scheinen mir Fälle wie der, von welchem die obige Kurve 9 stammt, zu zeigen, daß Steigerung der Schlagfolge aufs Doppelte durch Extrasystolen zustande kommen kann; der Fall zeigt aber außerdem, daß die den Extrasystolen entsprechenden Pulswellen ganz verschieden groß sein können, bei der zweiten Systole an der Karotis gar nicht wahrnehmbar, bei der dritten und vierten ganz deutlich.

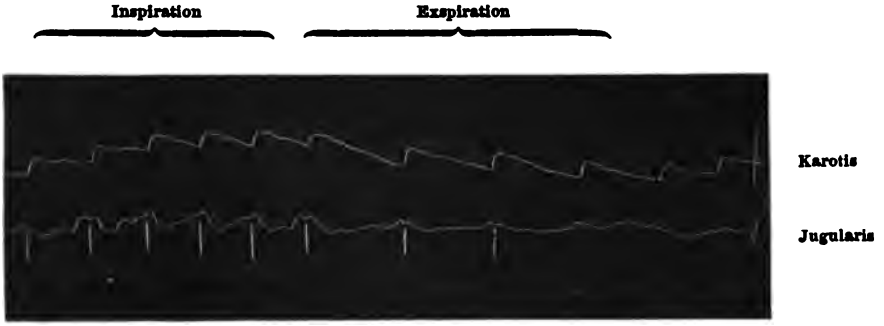
Ich möchte danach annehmen, daß der Tachykardieanfall zwar durch Extrasystolen bedingt ist, daß aber (damit die interpolierten Pulse die Größe der anderen erreichen) noch eine Steigerung des Kontraktionsvermögens, eine positiv inotrope Störung miteinwirken muß.

Infantiler Rhythmus. Die letzte Gruppe von Arhythmien betrifft jene Fälle, in denen die Pulse in unregelmäßigem Abstand aufeinander folgen, wo aber, im Gegensatz zu den bisher besprochenen Formen, die Dauer der Systole sowohl wie das Intervall zwischen Vorhof- und Kammerzuckung unverändert bleiben, Störungen, die sich lediglich in der Schnelligkeit der Schlagfolge, nicht in einer Qualitätsänderung der Einzelpulse dokumentieren. Es ist das eigentlich die allereinfachste Art von Pulsarhythmie. Nach Engelmanns Nomenklatur ist sie als rein chronotrope Störung zu bezeichnen.

Den am häufigsten zu beobachtenden Fall derartiger Arhythmie bildet der von der Atmung abhängige Wechsel in der Schlagfolge. Beschleunigung des Herzschlags während der Inspiration, Verlangsamung während der Exspiration findet sich andeutungsweise bei vielen Menschen, wenn die Atmung verstärkt wird. Namentlich nervöse Leute, aber auch Anämische und Rekonvaleszenten zeigen die Erscheinung in verstärktem Maße, und nun oft so deutlich, daß sie nicht nur bei vertiefter, sondern auch bei der gewöhnlichen Atmungsweise sehr auffällig und häufig schon von dem Laien wahrgenommen wird.

Diese Arhythmieform ist schon seit lange von den Physiologen studiert und als rein reflektorisch, durch Vaguseinfluß bedingte Erscheinung erkannt worden. Da wo sie klinisch deutlich wird (vgl. Figur 13), handelt es sich regelmäßig um Individuen mit gesteigerter reflektorischer Erregbarkeit. Das ist namentlich von Lommel, ganz kürzlich auch wieder von Kraus dargetan worden.

Sehr viel dunkler in ihrer Entstehungsweise sind solche chronotrope Störungen, die unabhängig von der Respiration, also auch bei angehaltenem Atem, vorkommen. Man begegnet diesem Verhalten nicht selten bei jugendlichen Personen gegen die Pubertätsjahre hin. Mackenzie bezeichnet es deshalb



Figur 13. Respiratorische Arhythmie.

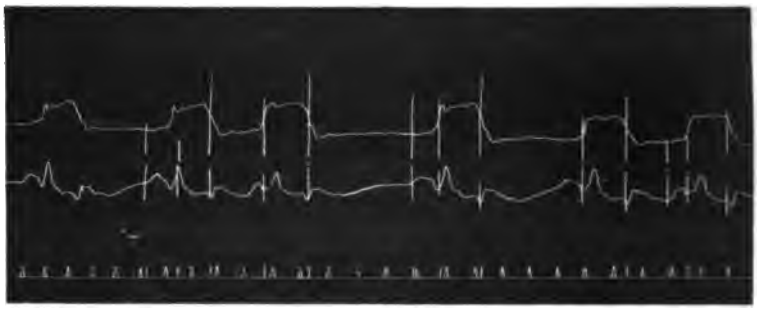
geradezu als den infantilen Typus der Arhythmie und stellt ihn damit in Gegensatz zu dem Arhythmietypus der Erwachsenen, worunter er alle früher besprochenen Arhythmieformen versteht.

Damit soll nicht gesagt sein, daß diese Form ausschließlich bei Kindern vorkomme, noch auch daß Kinder nicht auch jede andere Form von Herzirregularität darbieten können. Bei Kompensationsstörungen wird auch bei Kindern jede Form von Arhythmie beobachtet. Charakteristisch für das Kindesalter ist nur das relativ häufige Vorkommen jenes infantilen Typus auch in Fällen, wo keinerlei Herzkrankheit und auch kaum ein wesentlicher Grad von Neuropathie besteht.

Und auch da, wo dieser infantile Typus sich bei Erwach-

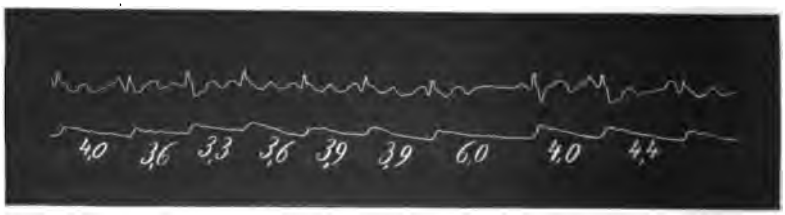
senen findet, scheint ihm eine ähnliche günstige Prognose zuzukommen.

Figur 14 gibt die Kurven eines solchen Falles, der einen jungen Mann mit allerhand nervösen Störungen, aber ohne alle



Figur 14. Ganz unregelmäßige Schlagfolge, die einzelnen Pulse aber von gleicher Länge, und überall gleiche Distanz zwischen der Vorhofszacke der Vene und dem Beginn des Spitzenstoßes.

Herzbeschwerden betraf, Figur 15 stammt von einem Mann mit gut kompensiertem Mitral- und Aortenfehler, gleichfalls zurzeit ohne Herzbeschwerden, Figur 16 von einem Patienten mit auffallend lange und gut kompensierter Mitralstenose und



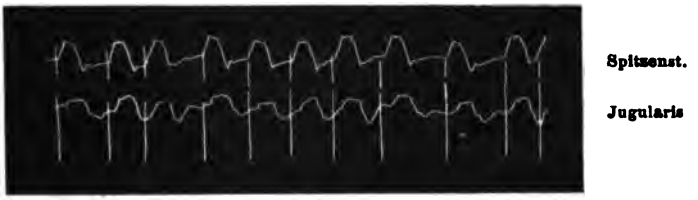
Figur 15. Unregelmäßige Schlagfolge, die Vorhofswelle der Vene aber jedesmal im nämlichen Abstand vom Karotispuls; die Zahlen geben die Dauer der Pulse in Fünftelsekunden.

Trikuspidalinsuffizienz; auch dieser letzte Fall scheint somit die relativ gute Prognose, die Mackenzie dieser Arhythmieform beilegt, zu bestätigen.

Wahrscheinlich gehören in die Kategorie der chronotropen Störungen auch gewisse Fälle, wie der in Figur 17 abgebildete, wo inmitten regelmäßiger Herzschläge eine auffallend lange

Pause eintritt; der Umstand, daß diese Pause aber wesentlich kürzer ist als die Dauer zweier normaler Pulse, spricht wenigstens deutlich dagegen, daß es sich etwa um einfaches Ausfallen vereinzelter Herzschläge (inotrope oder bathmotrope Form) gehandelt habe.

Daß gleichwohl Beziehungen zwischen diesen Formen und



Figur 16. Infantile Arhythmieform bei einem Patienten mit Trikuspidalinsuffizienz.

anderen Arten von Arhythmie bestehen, ergibt sich daraus, daß man manchmal Kombinationen von beiderlei Formen beim selben Kranken findet. So zeigt die Kurve 18, die von demselben Pat. stammt wie Kurve 17, einerseits deutlichen Wechsel in der Größe der Einzelpulse, andererseits bei *a* einen wahren Pulsus intermittens, d. h. eine Stelle, wo sowohl Arterien- wie

Figur 17. Zwischen ganz regelmäßigen Pulsen bei *a* eine längere Pause, ohne erkennbaren Zwischenschlag.

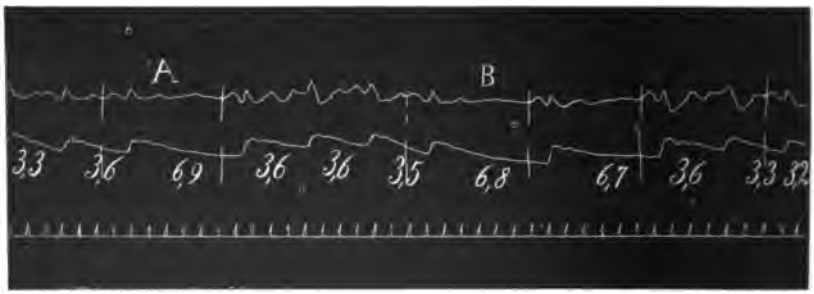
Venenpuls vollkommen fehlen, und auf Figur 11, die ebenfalls von demselben Pat. kurz nach den beiden anderen gewonnen wurde, eine andere, wo der Arterienpuls gleichfalls fehlt, die Vene aber an der normalen Stelle die Vorhofszacke vollkommen deutlich erkennen läßt, also Störungen, die am ehesten als bathmotrope zu deuten sind.

Andererseits finden sich nicht selten neben infantilem Typus

der Arhythmie Extrasystolen; so war bei dem Pat., von dem die Kurve 14 herrührt, wenige Minuten nach der ersten Kurvenaufnahme die Pulsdauer fast gleichmäßig, aber zwischen den regelmäßigen Schlägen lagen einzelne aurikuläre Extrasystolen.

Figur 18. Zwischen Pulsen von etwas ungleicher Länge bei *a* eine Pause, die ziemlich genau doppelt so lange ist als die beiden vorangehenden Pulse zusammen.

Schließlich sei hier noch erwähnt, daß das eben erwähnte Verhalten — vollständiger Ausfall einzelner Herzschläge ohne jede arterielle oder venöse Pulsation, ohne jede auskultatorische Erscheinung — noch häufiger vorkam bei jenem Patienten, von dem die Kurve 15 herstammt.



Figur 19. (Derselbe Fall, von dem Figur 15 stammt.) Zwischen Pulsen von etwa gleicher Dauer bei *A* und *B* Pausen, die annähernd der Länge zweier Pulse entsprechen.

In der Kurve 15 weist die Ungleichheit in der Dauer der übrigen Pulse auf rein chronotrope Störung (also „infantile" Arhythmie); in Kurve 19 dagegen wird man eher an wahre Intermittenzen des Herzschlags denken können. Es scheint mir einstweilen nicht möglich, sicher zu entscheiden, welcher der beiden Kategorien diese Kurve zuzuweisen ist.

Gegen eine dritte Deutungsmöglichkeit, nämlich eine dromotrope Störung, wie sie von Wenckebach beschrieben ist, und woran man wegen der eigentümlichen, an das Wenckebachsche Schema erinnernden Differenzen in der Zeitdauer der kürzeren Pulse denken könnte, spricht die Konstanz des Zeitintervalls zwischen Vorhofzuckung und Arterienwelle.

Blicken wir auf das Besprochene zurück, so zeigt sich, daß die moderne Forschung es in der Tat gestattet, die am Krankenbett beobachteten Arhythmieformen in physiologisch gut begründete Gruppen zu sondern.

Dabei hat die Gruppierung diejenigen Formen, die früher als die bestumschriebenen galten, eine eigentümliche Umwandlung erfahren: Die beiden Arten, die fast durchweg zusammen genannt und als nahe verwandt beschrieben wurden, der Pulsus bigeminus und Pulsus alternans, gehören jetzt in ganz verschiedene Gebiete. Dagegen ist dem Pulsus bigeminus das Gros der Fälle von Pulsus intermittens sehr nahe gerückt, beide sind durch Extrasystolen bedingt. Andererseits ist aber auch der Unterschied zwischen bigeminus und vollkommen arhythmischem Puls ein nur mehr quantitativer, da auch hier mindestens in erster Linie Extrasystolen für die Arhythmie maßgebend sind.

Dagegen kann der scheinbar einfachste Fall von Herzarhythmie, der Pulsus intermittens, auf zwei oder gar auf drei ganz verschiedene Weisen zustande kommen (Extrasystole, dromotrope, inotrope Störung).

Ist nun mit der neuen Gruppierung der Herzarhythmien ein Fortschritt für die klinische Beurteilung der Erscheinungen, für Diagnose und Prognose, gewonnen?

Leider ist da bis jetzt nur recht wenig zu berichten. So wie im Tierexperiment die verschiedenen Formen sowohl durch Schädigung des Herzens selbst (Giftwirkung, Abkühlung) als auch reflektorisch durch Nervenerregung erhalten werden können, so kommen auch all diese Formen beim Menschen vor, sowohl wo es sich um rein nervöse Beeinflussung, als wo es sich um eigentliche Herzleiden handelt. Die Entscheidung, ob das eine oder das andere oder beides der Fall ist, wird nach wie vor einstweilen durch die anderweitige Untersuchung der Kreislauf-

organe und des Gesamtorganismus und nicht durch die Art der Arhythmie an sich erbracht werden müssen.

Nur eine Form scheint hiervon eine Ausnahme zu bilden, nämlich die rein chronotrope Störung, die von Mackenzie als infantiler Typus bezeichnete Gruppe. Sie kommt, wie der britische Autor angibt, am häufigsten, wenn auch nicht ausschließlich, bei jugendlichen Individuen vor. Wenn sie auch manchmal bei Herzfehlerkranken beobachtet wird, so trifft man sie doch ganz vorwiegend und namentlich da, wo es sich um Kinder handelt, als rein nervöse Erscheinung, meist auch in dieser Beziehung als klinisch ziemlich bedeutungsloses Symptom. Und auch in den Fällen, wo sie bei Herzkranken auftritt, scheint sie nicht ein Zeichen schwerer Störung zu sein und ist auch hier vielleicht mehr durch nervöse Einflüsse als durch Schwäche des Herzmuskels bedingt.

Mit noch größerer Sicherheit kann man jene Form von rein chronotroper Arhythmie, die lediglich von den Respirationsphasen abhängt, auf rein nervöse Einflüsse beziehen. Sie hat nach übereinstimmender Ansicht der Autoren mit Herzmuskelleiden gar nichts zu tun.

Kommt somit dem infantilen Typus und den chronotropen Störungen des Herzschlags überhaupt gegenüber den übrigen Formen der Arhythmie eine gewisse Selbständigkeit zu, und kann ihre Entstehung mit großer Wahrscheinlichkeit in rein nervösen Einflüssen gesucht werden, so ergibt sich hier eine neue Schwierigkeit für die Beurteilung der Erscheinung am Krankenbett dadurch, daß dieser nervöse Einfluß sowohl durch lediglich funktionelle Momente als auch durch organische Hirnleiden bedingt sein kann.

In der großen Mehrzahl der Fälle weist zumal die rein respiratorische Arhythmie auf gesteigerte reflektorische Erregbarkeit hin und steht damit auf einer Stufe mit der Steigerung der Sehnenreflexe, dem leichteren Erröten und Erblassen und ähnlichen Dingen und ist mit dem allen zusammen lediglich Zeichen einer nervösen Disposition. Man findet aber dieselbe respiratorische Form der Herzunregelmäßigkeit und, nach Mackenzies Angaben, auch die von der Respiration unabhängige infantile Arhythmie bei Vagusreizung infolge von Hirndruck, oft neben der Pulsverlangsamung, so bei Meningitis, Hirnabszeß.

Liegt also bei den Extrasystolen und den meisten übrigen Formen von Arhythmie die diagnostische Schwierigkeit in der Unterscheidung von Herzleiden und Neurasthenie, so wird man da, wo man die zuletzt besprochene Form, den respiratorischen und den infantilen Typus erkannt hat, eher zweifeln müssen, ob Neurasthenie, ob organisches Hirnleiden die Ursache bilde.

Unter den übrigen Formen von Herzarhythmie nehmen die Extrasystolen weitaus den ersten Platz ein. Bei diesen Extrasystolen ist es nun recht auffallend, daß sie von manchen Patienten absolut nicht gefühlt, von anderen aber als höchst unangenehme und beängstigende Empfindung wahrgenommen werden. Manchmal wird mehr das Aussetzen, manchmal mehr die Wiederkehr des Herzschlags empfunden. Im ersteren Fall überwiegt das Gefühl der Bangigkeit. Im letzteren Fall nehmen die Kranken einen höchst unangenehmen Stoß in der Herzgegend, häufig von hier aus den ganzen Körper durchzuckend, wahr, nur selten mit wirklichem Schmerz verbunden.

Die klinische Erfahrung spricht nun dafür, daß diese Fälle, wo der Patient das Aussetzen des Herzschlags fühlt, in der Regel solche von nervöser Störung und nicht solche von schwerem Herzleiden sind. Darauf hat Leyden schon hingewiesen, und neuerdings haben Romberg, Lommel u. a. diese Anschauung bestätigt.

Es ist allerdings auch hier wieder zuzugeben, daß diese vom Patienten wahrgenommenen Extrasystolen auch nicht so selten bei Herzkranken, namentlich bei arteriosklerotischen Herzkrankheiten vorkommen; sie haben aber, so viel ich sehe, ähnlich wie das Vorkommen der infantilen Arhythmieform bei Herzkranken, nicht die ernste Bedeutung, welche sonst so oft hier der Arhythmie zukommt; wenn es auch zu weit gegangen wäre, sie hier regelmäßig als rein nervöses Symptom anzusprechen, so kommt diesen vom Patienten wahrgenommenen Extrasystolen doch auch bei Herzkranken keine schlimme prognostische Bedeutung zu.

Die Erwartung, mittels der modernen Pulsanalyse diese besondere Gruppe der Extrasystolen von den übrigen auch objektiv ihrer Erscheinungsweise nach abtrennen zu können, hat sich einstweilen nicht erfüllt. Sowohl aurikuläre wie ventrikuläre Formen werden bald nicht, bald höchst deutlich subjektiv wahrgenommen.

Auch die detaillierte Untersuchung solcher Fälle hat in dieser Richtung keinen Fortschritt gebracht. So wurden retrograde Extrasystolen, die ja wohl die stärkste Störung im Ablauf der Zuckungsvorgänge am Herzen bedingen, in meinem Fall 7 deutlich, in einigen der Panschen Fälle dagegen nicht empfunden.

Wenn somit das Studium der Herzarhythmien bis jetzt nur wenig für die Praxis in Betracht kommende Resultate gebracht hat und eine ausgiebige Verwertung seiner Ergebnisse für Diagnostik und Therapie noch von der Zukunft erhofft werden muß, so hat es doch schon jetzt eine große Bedeutung für die theoretische Medizin. Diese Bedeutung liegt weniger im Studium der Einzelheiten an sich als vielmehr darin, daß es eine ganz ungeahnte Übereinstimmung zwischen den Beobachtungen am Krankenbett mit den Resultaten der physiologischen Forschung erwiesen hat. In der Tat ist solche Analogie zwischen pathologischen und physiologischen Beobachtungen kaum auf irgendeinem Gebiet größer als auf dem der Unregelmäßigkeit des Herzschlags.

Literatur.

Belski, Ztschr. f. klin. Med. 54.
Brandenburg, Ztschr. f. klin. Med. 54. — Kongr. f. innere Med. 1904. — Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1904, Suppl.
Cushney u. Matthews, Journ. of Physiol. 21.
Engelmann, Pflügers Arch. 62. 65; Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1900—1905.
Gaskell, Journ. of Physiol. 4.
D. Gerhardt, Arch. f. exper. Path. u. Pharmak. 47. 51.
W. His, Arch. f. klin. Med. 64.
H. E. Hering, Pflügers Arch. 82. — Prager med. Wochenschr. 1901—1904. — Arch. f. klin. Med. 79. — D. med. Wochenschr. 1903. — Zbl. f Physiol. 1901. — Ztschr. f. exper. Path. u. Ther. 1.
A. Hoffmann, Arch. f. klin. Med. 78. — Ztschr. f. klin. Med. 53.
Knoll, Wiener Akademieber. 66.
F. Kraus, D. med. Wochenschr. 1905. Nr. 2 u. 3.
v. Leyden, D. med. Wochenschr. 1889.
F. Lommel, Arch. f. klin. Med. 72.
J. Mackenzie, Die Lehre vom Puls. Übers. von Deutsch. Frkft. 1904.
Pan, Arch. f. klin. Med. 78 u. Ztschr. f. exper. Path. u. Ther. 1.
Pletnew, Ztschr. f. exper. Path. u. Ther. 1.
Quincke, Leyden-Festschr. 1902.
Quincke u. Hochhaus, Arch. f. klin. Med. 53.
F. Riegel, Arch. f. klin. Med. 18. 20. — Volkmanns Vortr. 1898.
Rihl, Ztschr. f. exper. Path. u. Ther. 1.
Straub, Arch. f. Path. u. Pharm. 45.
F. Volhard, Ztsch. f. klin. Med. 53.
K. F. Wenckebach, Ztschr. f. klin. Med. 36. 37. 39. 44. — Die Arhythmie als Ausdruck bestimmter Funktionsstörungen des Herzens. Lpzg. 1903.

Über das magnetische Verhalten von Eisenpulver verschiedener Dichte.

Von Walter Trenkle.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Einleitung.

Als Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit diente die im Jahre 1874 veröffentlichte Arbeit von R. Börnstein: Über das Verhältnis des temporären Magnetismus zur magnetisierenden Kraft und seine Beziehungen zur Wechselwirkung der Metallteilchen[1]).

Börnsteins Versuche sollten „über die Wechselwirkung der Metallteilchen in Magnetkörpern Aufschluß geben" und „wurden mit Stäben angestellt, die auf chemischem Wege bereitet, die magnetisierbaren Metalle Eisen, Nickel und Kobalt chemisch rein, teils ohne Zusatz, teils innig gemengt mit Tonerde enthielten".

Mit Hilfe der bekannten, zuerst von Gauß angegebenen Methode untersuchte Börnstein den Zusammenhang zwischen magnetisierender Kraft und „temporärem Magnetismus" der angegebenen pulverförmigen Substanzen, um daran eine theoretische Diskussion der erhaltenen Resultate zu knüpfen.

Ohne nun auf die Ergebnisse dieser Diskussion zunächst einzugehen, stellte ich mir, einer Anregung von Herrn Prof. Dr. E. Wiedemann folgend, vorerst die Aufgabe, lediglich die Resultate der Börnsteinschen Versuchsreihen für Eisen einer vergleichenden Nachprüfung mit den aus eigenen Versuchsreihen erhaltenen Kurven zu unterwerfen und etwa festzustellen, wie weit sich Börnstein einem Maximum der Magnetisierung ge-

[1]) Ber. d. math.-phys. Kl. d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss. vom 29. Juni 1874.

nähert hatte, bezw. ob die bisher ausschließlich angewendete Magnetometermethode überhaupt zur Erlangung dieses Maximums ausreiche. Im Anschluß daran sollte dann der Versuch gemacht werden, die neueren ballistischen Methoden auf die Untersuchung der Magnetisierbarkeit von Eisenpulver anzuwenden und eventuell mit ihrer Hilfe den Verlauf der Magnetisierung in seinem vollständigen Umfang zu verfolgen.

Die Betrachtung der Börnsteinschen Kurven läßt nämlich erkennen, daß der Beobachter bei keinem der untersuchten Stäbe ein Maximum der Magnetisierung zu erreichen vermochte, ja bei den meisten sogar weit davon entfernt geblieben ist, was bezüglich einiger Stäbe auch ausdrücklich erwähnt wird. Zudem konnte auch J. Haubner bei seinen mit der Magnetometermethode angestellten Untersuchungen „Über das magnetische Verhalten von Eisenpulvern verschiedener Dichten“[1]) das bereits vor Eintritt des Maximums der Magnetisierung liegende „Maximum der Magnetisierungsfunktion nicht erreichen“, und ebenso konstatiert A. v. Waltenhofen in seiner Arbeit „Über das magnetische Verhalten des pulverförmigen Eisens“[2]) unter Bezugnahme auf die Resultate seiner ebenfalls mit der Magnetometermethode angestellten Versuche: „Was sofort in die Augen fällt, sind die verhältnismäßig sehr geringen Magnetisierungen, die das pulverförmige Eisen selbst bei Anwendung starker Ströme angenommen hat.“

Dies wurde mir Anlaß, mich vorerst durch die Ausführung eigener Versuche mit der Magnometermethode von der prinzipiellen Schwierigkeit zu überzeugen, auf diesem Wege ein Maximum der Magnetisierung bei pulverförmigem Eisen zu erreichen.

I. Teil.

1. Anordnung der Versuche mit dem Magnetometer.

Die Versuchsanordnung, die ich hierbei benutzte, war die folgende:

Der Mittelpunkt des Glockenmagneten eines als Magnetometer dienenden Wiedemannschen Galvanometers lag in einer

[1]) Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1881, Bd. 83, S. 1167.
[2]) Wiedem. Ann., Neue Folge Bd. VII, S. 415. 1879.

Geraden mit der Achse einer Magnetisierungsspirale von 35 cm Länge so, daß die definierte Gerade senkrecht zum magnetischen Meridian lag. Die Magnetisierungsspirale besaß 1174 Windungen isolierten Kupferdrahtes in 6 Lagen bei einem mittleren Durchmesser von 3 cm. Der Mittelpunkt der zylindrischen Stäbe und zugleich der Mittelpunkt der sie umschließenden Magnetisierungsspirale war je nach der benötigten Empfindlichkeit der Anordnung verschieden weit entfernt vom Mittelpunkt des Glockenmagneten, worüber bestimmte Angaben an geeigneter Stelle noch folgen. Jeder Stab war symmetrisch in einem durchbohrten Kork befestigt und konnte mit diesem so in die Spirale hineingeschoben werden, daß seine Achse mit der Achse der Spule möglichst genau zusammenfiel.

Zur genauen Einstellung der Stäbe diente die folgende Vorrichtung. Auf einem Messingstab waren im genauen Abstand der Endflächen der Spirale zwei Marken eingefeilt; derselbe war parallel mit den zu untersuchenden Stäben ebenfalls durch den Kork gesteckt, so daß der Mittelpunkt des Markenabstandes und mit ihm der Mittelpunkt der Stäbe gerade dann in einer durch den Mittelpunkt der Spule gehenden und auf deren Achse senkrecht stehenden Ebene lagen, wenn die beiden Marken in die Endflächen der Spule fielen.

Der von der Magnetisierungsspirale herrührende Teil der Ablenkung wurde kompensiert durch eine zweite Spirale mit 575 Windungen isolierten Kupferdrahtes. Dieselbe war ebenfalls axial senkrecht zum magnetischen Meridian auf entgegengesetzter Seite des Magnetometers orientiert und war in einen Stromkreis geschaltet mit der Magnetisierungsspirale.

Den magnetisierenden Strom lieferte die 110-Voltanlage des hiesigen physikalischen Instituts unter Benutzung eines Vorschaltwiderstandes von 1—18 Glühlampen in Parallelschaltung, wobei jede Lampe ca. 0,5 Ampère durchließ. Zur Messung der magnetisierenden Stromstärken diente ein Präzisionsamperemeter von Reiniger & Cie. in München mit 0,05 Ampère als Einheit der Skaleneichung, während die Magnetometerablenkungen mit Fernrohr und Millimeterskala in wechselnden Abständen vom Magnetspiegel abgelesen wurden.

In der hiermit beschriebenen Weise unternahm ich nun zunächst eine Reihe von Untersuchungen mit festem, stab-

förmigen Material aus weichem Eisen, Gußeisen und Stahl. Die untersuchten Stäbe hatten zylindrische Gestalt; ihre Länge betrug 20,3 cm, ihr Durchmesser 1,5 cm, so daß sie im Feld in erster Annäherung der Form eines nach der großen Hauptachse magnetisierten Ellipsoids entsprachen, womit die theoretische Bedingung für das Auftreten eines konstanten, der Magnetisierung proportionalen Wertes der „entmagnetisierenden Intensität" fürs erste angenähert erfüllt war. Die Entfernung des Stabmittelpunktes vom Mittelpunkt des Glockenmagneten betrug 150 cm.

Bezüglich der Resultate dieser einleitenden Versuche mit festem Material bemerke ich nur, daß ich bei allen hierbei in Frage kommenden Messungen mit der Magnetometermethode eine Annäherung an ein Maximum der Magnetisierung zu erreichen vermochte. Das Maximum der hierbei angewandten Stromstärke betrug 6 Ampère.

2. Herstellung der Stäbe aus Eisenpulver.

Nach Erledigung der hiermit beschriebenen Versuche ging ich an die Herstellung des pulverförmigen Eisens bezw. der Gemische von Eisenpulver mit Tonerde als unmagnetisierbarer Substanz. Dabei schlug ich zuerst den von Börnstein angegebenen Weg des chemischen Verfahrens ein.

Aus verschieden konzentrierten, gemischten Lösungen von Eisensulfat und Aluminiumsulfat fällte ich mit Ammoniak das Ferrohydroxyd, zusammen mit dem Aluminiumhydroxyd, worauf der erhaltene Niederschlag filtriert und getrocknet wurde. Durch kräftiges Glühen im Gebläse wurde derselbe dann in ein pulverförmiges Gemenge von Ferrioxyd und Tonerde übergeführt und schließlich im Wasserstoffstrome reduziert.

Dabei zeigte sich nun die Tatsache, daß trotz eines mehrstündigen Reduktionsprozesses im chemischen Verbrennungsofen bei mindestens 1000° C. und trotz der Anwendung eines ziemlich kräftigen elektrolytischen Wasserstoffstromes, unter Vorlegung einer Trockenflasche, selbst geringe Oxydmengen von 20—40 g sich nicht vollkommen reduzieren ließen. Die rote Farbe des Eisenoxyds war wohl vollkommen verschwunden, und die Wasserstoffabsorption hatte ebenfalls vollkommen auf-

gehört, allein trotzdem erwies sich das erhaltene schwarze Pulver bei der magnetometrischen Prüfung nur als sehr schwach magnetisierbar, während gleich konzentrierte mechanische Mischungen aus Eisenpulver und Tonerde unter gleichen Umständen der Anordnung sehr gut meßbare Magnetisierungen ergaben.

Diese Wahrnehmung schien darauf hinzudeuten, daß die Reduktion des Eisenoxyds in dem gemeinsam mit dem Aluminiumhydroxyd gefällten Niederschlag nur in sehr unvollkommener Weise möglich ist, namentlich wenn es sich um größere Beimengungen von Aluminiumhydroxyd handelt.

Dadurch wäre aber gerade der Vorteil illusorisch gemacht, den das chemische Verfahren bei der Herstellung der Mischungen bieten soll, nämlich die Garantie einer möglichst gleichmäßigen Verteilung der unmagnetisierbaren Beimengungen.

Deshalb sah ich in der Folge ab von der Anwendung des chemischen Verfahrens und begnügte mich damit, in der beschriebenen Weise nur die Tonerde für sich darzustellen und nachher möglichst sorgfältige Mischungen derselben mit Eisenpulver (ferrum limatum) auszuführen, das ich zu diesem Zweck chemisch rein von der Firma E. Merck in Darmstadt bezog.

Die so erhaltenen pulverförmigen Massen wurden in kalibrische Glasröhren mit dem innern Durchmesser $d = 1{,}12$ cm eingefüllt und mit einem eingepaßten Stempel von beiden Seiten leicht zusammengedrückt, um ein ziemlich straffes, gleichmäßiges Gefüge zu erzielen. Hierauf wurden beiderseits streng passende zylindrische (nicht konische) Korke zum Abschluß eingeschoben, und der Abstand zwischen den sich scharf abhebenden Grenzflächen von Kork und Pulvermasse gab die Länge der Stäbe.

Das Eisenpulver erwies sich auch nach langem Liegen an der freien Luft bezüglich seines magnetischen Verhaltens bei zeitlich weit auseinander liegenden Messungen nicht nachweisbar oxydiert und konnte deshalb in den beschriebenen Glasröhren untersucht werden, ohne daß es notwendig gewesen wäre, die Füllung etwa in einer Wasserstoff- oder Stickstoffatmosphäre vorzunehmen.

Dagegen gebrauchte ich im Interesse eines möglichst gleichmäßigen Gefüges der Pulverstäbe die Vorsichtsmaßregel, die Füllung bei nahezu wagrechter Lage der Glasröhren vor-

zunehmen und jede Erschütterung derselben nach Möglichkeit zu vermeiden, damit die Gleichförmigkeit der hergestellten Mischung nicht durch die Verschiedenheit der spezifischen Gewichte von Tonerde und Eisen wieder gestört werde.

Aus den hiermit beschriebenen Mischungen waren indes nur die Stäbe der im folgenden mit A bezeichneten Versuchsreihe hergestellt. Für die Stäbe der Versuchsreihe B dagegen stellte ich mir Mischungen des Eisenpulvers mit Kupferbronze her, deren spezifisches Gewicht dem des Eisens bedeutend näher liegt, so daß diese Mischungen jedenfalls so gleichmäßig ausfielen, als es überhaupt bei mechanischer Herstellung möglich ist. Vorher hatte ich mich selbstredend noch magnetometrisch vergewissert, ob nicht einer eventuellen Magnetisierung der Kupferbronze dabei Rechnung zu tragen sei, doch vermochte ich keine Spur einer Magnetisierbarkeit nachzuweisen.

3. Abänderung der in Abschnitt 1 beschriebenen Versuchsanordnung für die Messungen mit Eisenpulver.

Unter den in Abschnitt 1 beschriebenen Umständen der Anordnung und unter Anwendung derselben magnetisierenden Stromstärken stellte ich nun auch die ersten Versuche mit den hergestellten Pulvern an. Der Abstand der Stäbe vom Mittelpunkt des Glockenmagneten betrug zunächst, wie bei den Versuchen mit massivem Eisen 150 cm.

Dabei ergab sich, daß der bei reinem Eisenpulver erreichte größte Wert der Magnetisierung nur wenig über dem kleinsten Wert der Magnetisierung des untersuchten Stahles lag. Daraus folgte aber die Notwendigkeit einer bedeutenden Verkürzung des Abstandes der Pulverstäbe vom Magnetometer, um die Empfindlichkeit der Anordnung so weit als möglich zu erhöhen.

Nun ist zwar die Empfindlichkeit der Methode für kleine Ablenkungen nahezu umgekehrt proportional der dritten Potenz des Abstandes der Stäbe, allein die hierdurch gegebene Möglichkeit einer wesentlichen Empfindlichkeitssteigerung durch Verkürzung des Abstandes der Stäbe vom Magnetometer bringt andererseits bei Überschreitung einer gewissen Grenze so große Nachteile mit sich, daß ich einen im Vergleich zur Länge der

Pulverstäbe so unverhältnismäßig geringen Abstand, wie ihn Börnstein anwandte, vermeiden zu sollen glaubte.

Vielmehr war bei meinen Versuchen in der Folge der Abstand des Mittelpunktes der Stäbe vom magnetischen Mittelpunkt des als „Nadel" dienenden Glockenmagneten 62 cm, während gleichzeitig bei Versuchsreihe A die Länge der Stäbe 7,5 cm, bei Versuchsreihe B 11,5 cm betrug.

Mit der Verkürzung des fraglichen Abstandes wächst nämlich sehr bedeutend die Schwierigkeit der Kompensierung des von der Magnetisierungsspirale herrührenden magnetischen Einflusses, selbst wenn die kompensierende Spirale nur aus einer oder ganz wenigen Windungen besteht, so daß durch die Vergrößerung des Verschiebungsspielraums eine möglichst genaue Einstellung gewährleistet ist.

Hierzu äußert sich übrigens auch J. Haubner in der oben zitierten Arbeit: „ . . ., die Kompensationsrolle hätte der Magnetisierungsspirale bedeutend genähert werden müssen, was außer der Störung des magnetisierenden Feldes, die sich noch berechnen ließe, auch die unangenehme Folge hat, daß die Kompensation sehr schwierig und schon durch die geringste Erschütterung auch nur eines Drahtstückes aufgehoben wird."

Dazu kommt noch der weitere Umstand, daß die Polabstände L der Stäbe bezw. l der Magnetometernadel in die Berechnung der jeweiligen magnetischen Momente notwendig eingeführt werden müssen, sobald der Abstand r des Stabmittelpunktes vom Mittelpunkt der Magnetometernadel nicht mehr relativ groß ist gegen die halbe Stablänge, d. h. es ist dann an Stelle der Gleichung

$$M = \frac{1}{2} r^3 H \operatorname{tg} \varphi \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

die für die erste Gaußsche Hauptlage geltende Gleichung

$$M = \frac{1}{2} \frac{r^3 H \operatorname{tg} \varphi}{1 + \frac{{}^1/_2 L^2 - {}^3/_4 l^2}{r^2}} \quad \ldots\ldots \quad 2)$$

anzuwenden, worin die Größen r, L und l die bereits angegebene Bedeutung haben, während H die Horizontalintensität des Erdmagnetismus, φ die Ablenkung der Magnetometernadel und M das jeweilig erreichte magnetische Moment des untersuchten Stabes bedeuten.

Ob sich nun die Korrektionskonstante $\eta = {}^1/_2\, L^2 - {}^3/_4\, l^2$ bezw. der in ihr enthaltene Polabstand L für die Pulverstäbe mit derjenigen Genauigkeit bestimmen lassen würde, die man sinngemäß für die Einführung einer Korrektur überhaupt verlangen muß, erschien mir aus dem Grunde fraglich, weil die übliche Bestimmung von L zu ${}^5/_6$ der Stablänge bei den Pulverstäben in ziemlich variabler Weise nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmte, soweit ich dies aus der Verteilung des remanenten Magnetismus längs der geometrischen Achse der Stäbe nach Beendigung der Versuche beurteilen konnte.

Zwar wäre noch eine Elimination der Korrektionskonstante η nach dem Prinzip des Gaußschen Verfahrens bei der Messung von $\frac{M}{H}$ möglich gewesen. Allein, da es hierbei notwendig ist, jede zu einer beliebigen magnetisierenden Stromstärke gehörige Ablesung am Magnetometer bei zwei verschiedenen Abständen des Stabes vorzunehmen, so wäre bei diesem Verfahren für mich die bedenkliche Schwierigkeit aufgetreten, daß ich für die zweite Ablesungsreihe nicht mit Sicherheit wieder auf genau die gleichen Stromstärken einzustellen vermocht hätte, weil für eine derartig präzise Abstufung bei den ebenso störenden wie unvermeidlichen Spannungsschwankungen in der Leitung der Glühlampenwiderstand unzureichend war.

Somit unterließ ich es, eine Erhöhung der Empfindlichkeit durch Abstandsverkürzung über das angegebene Maß hinaus anzustreben, wiewohl dadurch der Untersuchung von Pulvermischungen geringeren Eisengehaltes sehr bald eine untere Grenze gesetzt war.

4. Berechnung der magnetisierenden Felder.

Zur Berechnung der magnetisierenden Felder der Spirale diente die Gleichung

$$H = 0{,}4\,\pi\,n\,i,$$

worin die Konstante $0{,}4\,\pi\,n$ durch die Ampèrewindungszahl der Spirale gegeben war, während die Ablesungen am Präzisions-Ampèremeter unmittelbar die jeweiligen Werte für die magnetisierenden Stromstärken i ergaben.

Den Faktor

$$\frac{a}{\sqrt{a^2 + 4\varrho^2}}$$

in der korrekten Gleichung

$$H = 0{,}4\pi n i \frac{a}{\sqrt{a^2 + 4\varrho^2}}$$

mußte ich notgedrungen vernachlässigen, weil der mittlere Halbmesser ϱ der mir zur Verfügung stehenden Spirale nur bis auf etwa $\pm$ 4 mm genau bestimmt werden konnte. In jedem Falle aber war der Faktor

$$\frac{a}{\sqrt{a^2 + 4\varrho^2}}$$

für meine Spirale nicht kleiner als 0,99, so daß der begangene Fehler sicher unter 1 % blieb.

Anlaß zu einem Bedenken gab jedoch die Frage, ob das somit jeweilig für den Mittelpunkt der Spirale berechnete Feld auch genügend homogen sei für die Länge der axial und symmetrisch zum Mittelpunkt liegenden Stäbe.

Klarheit hierüber zu schaffen, war der Zweck einiger in dem fraglichen Bereich vorgenommener vergleichender Feldmessungen mittelst Induktionsprobespule. Dieselben ergaben für die halbe Länge der Stäbe A — beiderseits je 3,75 cm symmetrisch zum Mittelpunkt — eine Maximalvariation von nicht ganz 2 %; analog für die Stäbe B mit der halben Länge 5,75 cm eine Variation von 2,4 %.

Auf Grund des Ergebnisses obiger Feldmessungen glaubte ich das Solenoidfeld auch für die Länge der Stäbe B noch als homogen betrachten zu dürfen. Da das Verhältnis der Länge meiner Stäbe zu der Länge der Magnetisierungsspirale $\frac{1}{4{,}66}$ bezw. $\frac{1}{3{,}04}$ betrug, so befand ich mich dabei auch in Übereinstimmung mit einer Angabe von H. du Bois[1]), der für die Praxis „Spiralen von mindestens der dreifachen Länge des zu magnetisierenden Körpers“ für genügend erachtet mit der Bemerkung: „in dem von dem Körper eingenommenen Raum in der Mitte der Spule ist dann das Feld mit für die meisten Zwecke genügender Annäherung gleichförmig.“

[1]) H. du Bois, Magnetische Kreise, Berlin u. München 1894, S. 41.

5. Berechnung der Entmagnetisierung.

Eine weitere prinzipielle Schwierigkeit für die genaue Bestimmung der magnetisierenden Wirkung in der Spirale liegt bei der Anwendung der Magnetometermethode auf die Untersuchung pulverförmigen Eisens darin, daß die Berechnung der von den freien Magnetpolen herrührenden entmagnetisierenden Gegenwirkung nur mit unvollkommener Sicherheit ausgeführt werden kann, soferne man dem Material die in experimenteller Hinsicht so bequeme zylindrische Form gibt.

Wohl hat man es bei der Untersuchung massiven Stabeisens in der Hand, die zylindrische Form der Materialstäbe in ihrem Dimensionsverhältnis der von der Theorie geforderten Ellipsoidgestalt mit beliebiger Genauigkeit zu nähern, indem man den Durchmesser der Stäbe sehr klein wählt gegenüber ihrer Länge. Dabei kann die Stablänge immer noch im richtigen Verhältnis stehen zur Länge der Magnetisierungsspirale, ohne daß diese selbst unförmig lang zu sein braucht. Hingegen bei der Untersuchung pulverförmigen Materials kommt noch der Umstand in Betracht, daß die Gewichtsmenge des Eisens durch die Wahl des Dimensionsverhältnisses nicht über eine bestimmte Grenze hinaus verringert werden darf, weil sonst die Empfindlichkeit der Methode unzureichend wird für die relativ sehr geringen Magnetisierungen, auf die sich das Pulver unter dem Einfluß der Magnetisierungsspirale überhaupt bringen läßt.

Ist H_1 die entmagnetisierende Gegenwirkung und J die Magnetisierung, so gilt für das Rotationsellipsoid von den Halbachsen c und a, unter der Voraussetzung, daß die Rotationsachse c parallel der Feldrichtung liegt und $c > a$, die Beziehung

$$H_1 = PJ, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

wo

$$P = 4\pi \frac{1-e^2}{e^3}\left(\frac{1}{2}\log\text{nat}\frac{1+e}{1-e} - e\right). \quad \ldots \quad 2)$$

wenn

$$e = \sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

die lineare Exzentrizität bedeutet. Für einen Kreiszylinder

von der Länge l und dem Durchmesser d gilt die Relation 2) um so näher, je größer $m = \frac{l}{d}$ ist, wobei die Relation 3) übergeht in

$$e = \sqrt{1 - \frac{1}{m^2}}.$$

Doch unterscheidet sich beispielsweise nach du Bois[1]) für einen Kreiszylinder vom Dimensionsverhältnis $m = 40$ der nach 2 berechnete Proportionalitätsfaktor P von dem tatsächlich richtigen Faktor P' noch um 11,7 %. Will man also etwa für einen zylindrischen Stab aus pulverförmigen Eisen das angegebene, noch ziemlich ungünstige Dimensionsverhältnis der Untersuchung und Berechnung zugrunde legen, so muß man den Durchmesser des Stabes bereits recht klein wählen, wenn die Länge desselben nicht gleichzeitig eine unförmige Länge der Magnetisierungsspirale nach den oben gemachten Angaben bedingen soll. Wählt man entsprechend der Länge der von mir verwendeten Spirale (35 cm), $m = \frac{l}{d} = \frac{10\text{ cm}}{0{,}25\text{ cm}} = 40$, so wird die dabei verwendbare Gewichtsmenge des Eisenpulvers bereits so klein, daß die Empfindlichkeit der Methode nicht mehr zu einer verlässigen Messung ausreicht, da der Empfindlichkeitssteigerung durch die in Abs. 4 dargelegten Schwierigkeiten eine bestimmte Grenze gesetzt ist. Insbesondere wird jede Messung vollkommen unmöglich, sobald das Eisenpulver in beträchtlicher Beimengung von unmagnetisierbaren Pulvern untersucht werden soll.

Bei der Bestimmung der Entmagnetisierungsfaktoren P der von mir verwendeten Stäbe verfuhr ich nun, wie folgt:

Für die Stäbe der Reihe B meiner Versuche mit dem Dimensionsverhältnis $m_B = \frac{11{,}4\text{ cm}}{1{,}12\text{ cm}} = 10{,}26$ stand mir die oben zitierte du Boissche Tabelle zur Verfügung, deren Werte graphisch durch Vergleich mit der normalen Magnetisierungskurve eines geschlossenen Toroids bestimmt sind. Die Interpolation aus dieser Tabelle lieferte jedenfalls einen Wert, der mit möglichster Genauigkeit der Wirklichkeit entsprach.

---

[1]) du Bois, Magnetische Kreise, Berlin und München 1894, S. 45.

Für die Stäbe der Reihe A mit dem Dimensionsverhältnis $m_A = \frac{7{,}5 \text{ cm}}{1{,}12 \text{ cm}} = 6{,}69$ war eine Interpolation aus der Tabelle nicht möglich, weil in derselben die Werte für den zugehörigen Interpolationsbereich fehlten, so daß ich genötigt war, die angenäherte Berechnung für P nach obiger Formel auszuführen. Dabei berücksichtigte ich jedoch die noch aus der Tabelle ersichtliche Tatsache, daß in der Nähe des in Betracht kommenden Wertes des Dimensionsverhältnisses der tatsächliche Wert des Entmagnetisierungsfaktors noch um ca. 15,2 % kleiner ist als der aus der theoretischen Formel für das Ellipsoid berechnete Wert.

6. Resultate der Messungen mit der Magnetometermethode.

Die Zahlenresultate meiner nach der Magnetometermethode ausgeführten Messungen habe ich tabellarisch im Anhang zusammengestellt.

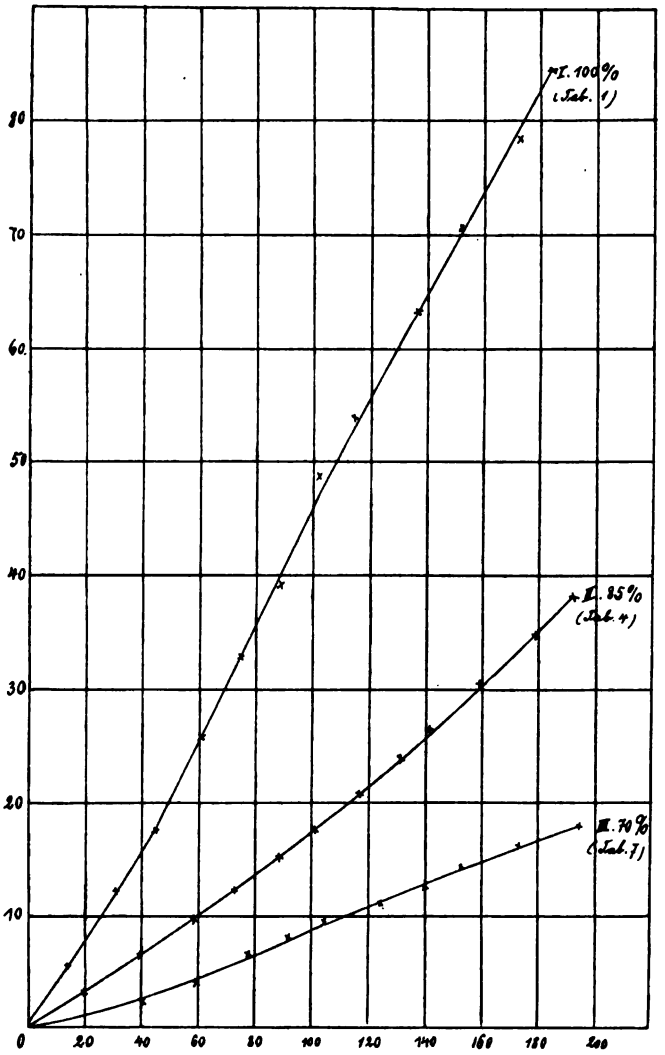
Die Tabellen der Versuchsreihe A enthalten unter H die magnetisierenden Feldstärken als $H = H' - H_i$, wo $H' = 0{,}4\,\pi\,n\,i$ nach der in Abs. 5 gegebenen Definition und $H_i = PJ$ nach den in Abs. 6 gemachten Angaben ist. Unter J stehen die magnetischen Momente der Volumeinheit, die Größen H und J sind in absoluten C. G. S.-Einheiten ausgedrückt.

Bei Versuchsreihe B habe ich nach Analogie der Börnsteinschen Tabellen unter J' die Werte von J auf gleiche Gewichtsmengen Eisen reduziert.

Die graphische Aufzeichnung der Resultate ist in der Weise ausgeführt, daß Fig. 1 die Abhängigkeit der Werte H (Abszissen) und J für einige Stäbe der Versuchsreihe A und Fig. 2 für die entsprechenden Stäbe der Versuchsreihe B darstellt.

Die Betrachtung der mit I. bezeichneten Kurven für reines Eisenpulver in diesen beiden Figuren zeigt trotz der wiederholt betonten Unsicherheit in der Berechnung der magnetischen Gegenwirkung eine sehr gute Übereinstimmung, während bei den folgenden Kurven für das verdünnte Pulver ziemlich beträchtliche Unterschiede auftreten. Dieselben dürften indes lediglich beweisen, daß es selbst bei sorgfältigster Herstellung der Mischungen kaum möglich ist, für zwei Stäbe von ein und

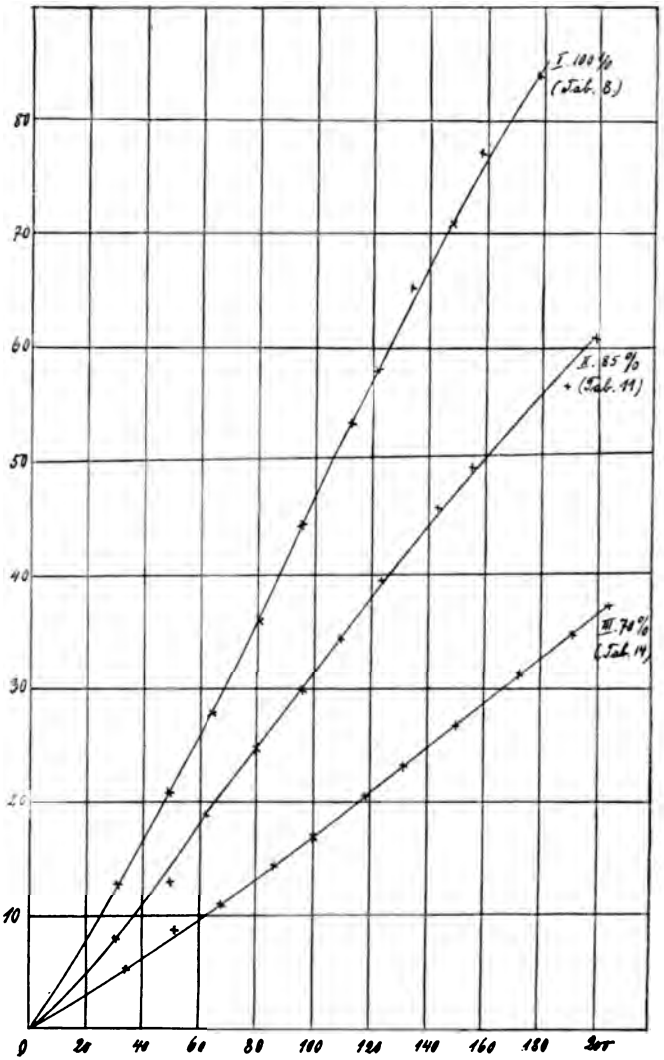
derselben Konzentration der Mischung ein absolut gleichmäßiges Gefüge zu erhalten.



Figur 1.

Die Gestalt und die Aufeinanderfolge sämtlicher Kurven — auch der in den beigefügten Figuren nicht wiedergegebenen — weist als Ergebnis die Tatsache nach, daß die Magnetisierung

des Eisenpulvers, d. h. das magnetische Moment der Volumeinheit, bei gleicher magnetisierenden Feldstärke mit ab-



Figur 2.

nehmender Dichte abnimmt. Diese Abnahme zeigt sich auch dann noch, wenn die Magnetisierungswerte nachträglich auf gleiche Gewichtsmengen Eisen bezogen werden.

Dieses von mir erhaltene Resultat steht in vollkommener Übereinstimmung mit der schon früher von Waltenhofen gemachten Wahrnehmung, daß die magnetischen Momente gleich schwerer Proben von lockerem Eisenpulver und von solchem, welches durch Zusammenklopfen verdichtet war, unter sonst gleichen Umständen für die ersteren kleiner ausfielen als für die letzteren.

Bezüglich der theoretischen Deutung des Resultats begnüge ich mich mit einem Hinweis auf die entsprechenden Ausführungen in der zitierten Arbeit Waltenhofens.

In einem scheinbar direkten Widerspruch hiermit steht dagegen das von Börnstein ausgesprochene Ergebnis: „Es zeigt sich in der Tat der Magnetismus der weniger dichten Masse durchgängig größer als der des reinen Eisens."

Aber so paradox dieses Ergebnis Börnsteins auch klingen mag, so ist der Widerspruch eben doch nur ein scheinbarer. Die Erklärung ergibt sich von selbst aus der von B. gebrauchten Definition des Begriffes „Magnetismus". B. leitet nämlich seine Resultate aus der tabellarisch und graphisch aufgestellten Abhängigkeit zwischen magnetisierender Kraft X und gesamtem temporärem Magnetismus Y ab, wobei mit dem Ausdruck „gesamter temporärer Magnetismus" das jeweilig erreichte gesamte magnetische Moment der Stäbe bezeichnet wird.

Nun war aber bei den von Börnstein untersuchten Stäben aus reinem Eisenpulver das Volumen stets kleiner als das der Stäbe aus Tonerdegemisch, indem die letzteren bei gleichem Durchmesser stets — zum Teil sogar sehr beträchtlich — länger waren als die Stäbe aus reinem Eisenpulver. Da aber das magnetische Moment direkt proportional ist dem mit zunehmender Länge wachsenden Polabstand, so konnten die ermittelten Momente der Stäbe aus Pulvergemisch — auch nach der Reduktion auf gleiche Gewichtsmengen Eisen — durchgängig größer sein als diejenigen der Stäbe aus reinem Eisenpulver. Man darf somit wohl folgern, daß diese Tatsache nicht eine Folge der weniger dichten Masse, sondern lediglich der größeren Stablänge war, um so mehr, als das Ergebnis einer Reduktion der Börnsteinschen Zahlen auf die Volumeinheit vollkommen im Einklang steht mit den von Waltenhofen und mir erhaltenen Resultaten.

Es zeigt sich also, daß bei dem Vergleich des Magnetisierungsverlaufes für Eisenproben verschiedener Dichte die bloße Reduktion der beobachteten magnetischen Momente auf gleiche Gewichtsmengen Eisen leicht zu mißverständlichen Ergebnissen führen kann. Überhaupt dürfte sich die ältere Definiton des Begriffes „spezifische Magnetisierung“ als magnetisches Moment der Gewichtseinheit für die Untersuchung der magnetischen Eigenschaften von Eisenmaterial weniger eignen als die jetzt allgemein gebräuchliche Definition, welche unter der Magnetisierung das auf die Volumeinheit entfallende Moment versteht, ohne auf die in dieser enthaltene Gewichtsmenge Eisen Rücksicht zu nehmen.

Auch die Börnsteinschen Zahlenreihen enthalten also implizite, d. h. nach Ausführung der Reduktion auf die Volumeinheit, das Resultat, daß die Magnetisierung bei gleicher magnetisierender Kraft mit abnehmender Dichte des Eisenpulvers abnimmt. Damit ändert sich aber auch die Grundlage für die Beweisführung zu einigen anderen von Börnstein gezogenen Folgerungen.

Ich erlaube mir, an dieser Stelle zunächst nur die folgende Aufstellung zu machen. Es ist durch die nachträgliche Reduktion der von Börnstein erhaltenen Zahlen, ferner durch die oben mitgeteilte Wahrnehmung Waltenhofens und zuletzt auch durch das in den Tabellen 1 bis 16 (S. 199) niedergelegte Ergebnis meiner eigenen zunächst mit der Magnetometermethode angestellten Messungen erwiesen:

1. Das magnetische Moment der Volumeinheit (J) sinkt bei gleicher magnetisierender Kraft (H) mit abnehmender Dichte;
2. infolgedessen ist es für den Verlauf der Magnetisierung nicht gleichgültig, ob man die in der Richtung der magnetisierenden Kraft liegende Dimension auf Kosten der anderen Dimensionen vergrößert, oder ob man die kleinsten Teilchen des Magneten durch Verdünnung seiner Eisenmasse voneinander entfernt.

Dementsprechend betrachtete ich es im folgenden als meine

Aufgabe, womöglich nun durch Versuche direkt festzustellen, in welcher Weise sich die unter 2 genannten und von B. zuerst verglichenen Formänderungen bezüglich ihres Einflusses auf den Verlauf der Magnetisierung unterscheiden.

II. Teil.

7. Theoretische Überlegungen.

Es ist eine feststehende Tatsache, daß die Veränderungen, die das Fortschreiten der Magnetisierung bei zunehmender Feldstärke unter dem Einfluß einer Änderung des Dimensionsverhältnisses des zu untersuchenden Eisenkörpers erleidet, sich in folgender Weise geltend machen[1]).

Die das Fortschreiten der Magnetisierung J mit zunehmender magnetisierender Feldstärke H darstellende Kurve mit den Ordinaten J und den Abszissen H zeigt sich stets um so weiter nach rechts, also von der Ordinatenachse weg, verschoben, je kleiner das Dimensionsverhältnis $\frac{l}{d}$ wird, wenn l die in die Feldrichtung fallende Dimension, d die darauf senkrecht stehende Dimension bedeutet, d. h. die von den freien Polen des, beispielsweise zylindrischen, Körpers herrührende und der magnetisierenden Feldstärke entgegenwirkende „entmagnetisierende Intensität" ist um so größer, je kleiner das angegebene Dimensionsverhältnis ist. Für einen axial magnetisierten Zylinder oder für ein nach der großen Hauptachse magnetisiertes Ellipsoid wird demnach die betrachtete Verschiebung um so kleiner, je mehr die gestreckte Form dieser Körper hervortritt. Theoretisch gleich Null wird diese Verschiebung nur für den Fall, daß das fragliche Dimensionsverhältnis gleich unendlich wird. Die für diesen Fall erhaltene Kurve ist als Normalkurve für das betreffende Material zu betrachten und stimmt überein mit der Kurve, die durch die Untersuchung desselben Materials in Form eines geschlossenen Toroids erhalten wird. Bei einem ganz bestimmten Wert der Magnetisierung J erreicht nun die Magnetisierbarkeit des untersuchten Materials ihr Maximum, und dieses Maximum bleibt seinem absoluten Werte nach genau dasselbe,

[1]) Eingehendes über die Theorie s. H. du Bois, Magnetische Kreise, Berlin und München 1894, 2. Kap., S. 25 ff.

in welcher Form man auch das Material untersuchen mag. Wohl aber ändert sich der Wert der magnetisierenden Feldstärke, bei dem das Maximum erreicht wird, und zwar ist derselbe, entsprechend der oben erwähnten Verschiebung nach rechts, um so größer, je kleiner das Dimensionsverhältnis $\frac{l}{d}$ ist. Untersucht man also ein und dasselbe Material etwa in zylindrischen Formen von verschiedenen Dimensionsverhältnis, so müssen die sämtlichen erhaltener Kurven bei einem ganz bestimmten Werte der Ordinate J, dem Sättigungswerte, zusammentreffen und von da an in einem der Abszissenachse parallelen Kurvenzuge weiter laufen..

Was müßte nun, entsprechend dieser experimentell feststehenden Tatsache, folgen, wenn eine auf Kosten der anderen Dimensionen vorgenommene Vergrößerung der in der Richtung der magnetisierenden Kraft liegenden Dimension dieselben Folgen hätte wie die abnehmende Dichte des Eisens? Offenbar müßte mit abnehmender Dichte des Eisens bei gleichbleibender magnetisierender Kraft (H) die Magnetisierung (J) in demselben Verhältnis wachsen, in dem sie tatsächlich zugenommen hätte, wenn man statt einer Herabsetzung der Dichte eine bestimmte Vergrößerung des Dimensionsverhältnisses $\frac{l}{d}$ vorgenommen hätte. Mit anderen Worten, es müßte das Gesamtbild des Magnetisierungsverlaufs für Stäbe verschiedener Dichte, aber gleichen Dimensionsverhältnisses genau dem oben beschriebenen Aussehen der Magnetisierungskurven für Stäbe verschiedenen Dimensionsverhältnisses, aber gleicher Dichte entsprechen.

Dementsprechend hielt ich es nun für meine nächstliegende Aufgabe, durch weitere Versuche eine unmittelbare Entscheidung dieser Frage anzustreben. Gelang es auf irgendeinem einwandfreien Wege den Verlauf der Magnetisierung bis nahe zur Sättigungsgrenze zu verfolgen, so war der Entscheid von selbst gegeben.

Jedoch gerade hier lag die bereits im einleitenden Abschnitt angedeutete große Schwierigkeit, daß die Magnetometermethode vollkommen versagt, wenn es sich darum handelt, die Magnetisierung des Eisenpulvers ihrem Sättigungswerte nahe zu führen. Selbst Magnetisierungsspiralen von sehr

großer Ampèrewindungszahl reichen nämlich bei weitem nicht hin, um die für die magnetische Sättigung des Eisenpulvers nötigen magnetisierenden Felder zu erzeugen[1]). Wollte man das Ziel durch Anwendung entsprechend großer Stromstärken zu erreichen suchen, so würde man durch die dadurch bedingte Vergrößerung des Drahtquerschnittes, selbst bei Anbringung einer Kühlvorrichtung, zu unförmlichen Dimensionen der Magnetisierungsspirale kommen, weil eine ungenügende Ampèrewindungszahl die Anwendung großer Stromstärken wieder vollkommen zwecklos macht.

Als Maximum der Stromstärke konnte ich bei meiner Spirale mit 33,5 Windungen pro Zentimeterlängeneinheit im höchsten Falle 6 Ampère anwenden. Wie weit ich dabei von einem Maximum der Magnetisierung entfernt geblieben bin, zeigt der Anblick der in den Fig. 1 und 2 beigegebenen Kurven.

Auf diesem Wege war also an eine Erreichung des Zieles nicht zu denken.

In Ausführung eines Vorschlages von Herrn Professor E. Wiedemann ging ich infolgedessen daran, eine der neueren ballistischen Methoden, speziell die Jochmethode, trotz voraussichtlicher Bedenken und Schwierigkeiten, auf eine Verwendbarkeit für meine Zwecke zu erproben.

8. Versuche mit der Jochmethode.

Zur Verfügung stand mir ein ungefähr nach den Angaben der physikalisch-technischen Reichsanstalt gebautes magnetisches Schlußjoch. Über die Sekundärspule mit 38 Windungen war eine Primärspule mit 1617 Windungen gut isoliert gewickelt. Mit den durch die Spulen und die durchbohrten Eisenbacken des Joches gesteckten Materialstäben war der Apparat zum Versuch gebrauchsfertig.

Das zu untersuchende Pulver füllte ich, wie früher, wieder in Glasröhren, deren äußerer Durchmesser möglichst genau der Weite der Backenbohrung des Jochs und des inneren Hohl-

[1]) Vgl. auch die auf die Untersuchung massiven Eisens bezüglichen Angaben über die Leistungsfähigkeit von Stromspiralen bei Ewing, Magnetische Induktion in Eisen und verw. Metallen, Berlin und München 1892, § 91, S. 130.

raumes der Sekundärspule entsprach, so daß sie nach dem Durchschieben straff an diesen anlagen.

Den magnetisierenden Strom lieferte wieder die elektrische Anlage des physikalischen Instituts, deren Pole ich unter Vorschaltung des bereits erwähnten Parallelglühlampenwiderstandes an die Klemmen der Primärspule legte, so daß ich die magnetisierende Wirkung derselben in bestimmten Abstufungen steigern konnte, deren Größe ich an dem ebenfalls bereits früher benutzten Präzisionsampèremeter ablesen konnte.

Als ballistisches Galvanometer diente mir ein du Bois-Rubenssches Instrument mit zwei leichten Magnetsystemen und von ziemlich hoher Empfindlichkeit. Um die Schwingungsdauer für meine Zwecke möglichst groß zu machen, hatte ich die Magnetsysteme ziemlich stark astasiert. Dies hatte allerdings die unangenehme Folge, daß sich die Beeinflussung des Galvanometers durch das Feld der Primärspule des Jochs bei dessen Erregung nur mit vieler Mühe durch die Wahl einer großen Entfernung zwischen Joch und Galvanometer beseitigen ließ.

Die Klemmen der Sekundärspule des Jochs waren mit den Galvanometerklemmen verbunden unter Vorschaltung eines Widerstandes von 2000 Ohm bei ebenfalls 2000 Ohm innerem Widerstand des Galvanometers.

Das Mittel aus den beim Öffnen und Schließen des Primärstromes hervorgerufenen größten Ausschlägen des Galvanometers gab dann ein Maß für das im Sekundärkreis induzierte Integral elektromotorischer Kraft und damit auch ein Maß für die magnetische Induktion des Eisenpulvers unter dem Einfluß der entstehenden und verschwindenden Felder der Primärspule.

Zur Berechnung diente dann die Gleichung

$$Q \cdot w = \int E \, dt = q \, \mathfrak{B} \, n.$$

Dabei bedeutet Q die Elektrizitätsmenge des Induktionsstoßes, w den Gesamtwiderstand des Sekundärkreises, q den Querschnitt der Sekundärspule, n die Windungszahl derselben und $\mathfrak{B}$ die jeweilig erreichte magnetische Induktion.

Da aber $\mathfrak{B} = H + 4\pi J$, wo H die magnetisierende Feldstärke der Primärspule ist, so berechnete sich J dann aus der Gleichung

$$J = \frac{1}{4\pi q}\left(\frac{Q \cdot w}{n} - H\,q\right)$$

Aus der nach bekannten Methoden vorher bestimmten Empfindlichkeit C des Galvanometers und dem, wie immer, durch Spiegelablesung bestimmten größten Ausschlag a ergab sich

$$Q = C \frac{\tau}{\pi} k^{\frac{1}{\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{\pi}{\Lambda}} a,$$

wo τ die durch den vorhandenen Widerstand des Sekundärkreises bedingte, möglichst genau bestimmte Schwingungsdauer des Galvanometers und Λ das zugehörige natürliche logarithmische Dekrement bedeuten.

Die Werte für H konnte ich hier nach dem Muster der von A. Ebeling und Erich Schmidt[1]) in der physikalisch-technischen Reichsanstalt für massives Stabeisen nach der Jochmethode ausgeführten Messungen aus der bereits in Abs. 5 angegebenen Gleichung

$$H = 0{,}4\,\pi\,n'\,i\,\frac{a}{\sqrt{a^2 + 4\varrho^2}}$$

berechnen.

Bezüglich der Resultate der hiermit kurz beschriebenen Versuche mit dem Joch kann ich mich auf die Angabe beschränken, daß diese Versuche es zwar ermöglichten, bedeutend höhere Werte der Magnetisierung zu erreichen, als die Versuche mit der Magnetometermethode ergaben, allein es war noch immer keine Andeutung von einer Annäherung an ein Maximum aus dem Charakter der graphischen Aufzeichnung des Resultates zu entnehmen.

Dabei hatte ich als magnetisierende Stromstärke wieder 6 Ampère im höchsten Falle angewendet. Höher konnte ich aus dem Grunde nicht gehen, weil die Primärspule sich sonst zu stark erwärmt hätte, und die Idee, die Spule in einen Kühler einzubauen, ließ sich infolge der knappen Abmessungen des Apparats nicht verwirklichen. Nach den Ergebnissen der in den letzten Absätzen vorliegender Arbeit noch mitgeteilten Versuche erscheint es überhaupt fraglich, ob sich die für die Untersuchung massiven Eisens ausgebildete Form des Schlußjoches soweit abändern läßt, daß eine Erreichung des Maximums der Magnetisierung auch für pulverförmiges Eisen möglich wird.

[1]) Vgl. z. B. E. Schmidt, Die magnetische Untersuchung des Eisens und verwandter Metalle, Halle a. S. 1900, S. 48.

Da ja der Hauptvorteil der Jochmethode in der fast vollkommen erreichbaren Beseitigung der „entmagnetisierenden Intensität“ durch die den Kraftlinienschluß vollziehenden Eisenbacken des Ringes liegt, so ist ein Hauptaugenmerk auf einen möglichst guten magnetischen Schluß zwischen den Materialstäben und diesen Eisenbacken zu richten. Bei festem Stabeisen läßt sich dies leicht durch Einspannung mittels kräftiger Schrauben erreichen. Hingegen ist bei pulverförmigem Material niemals der magnetische Widerstand der unvermeidlichen Glaswände der Röhren ganz zu beseitigen.

Aber selbst wenn eine möglichst vollständige Ausnützung der magnetisierenden Felder der Primärspule erreicht werden könnte, so würde die Leistungsfähigkeit derselben doch schwerlich so weit gesteigert werden können, als es für eine ganz vollkommene Magnetisierung des Eisenpulvers nötig ist.

Während nämlich der bei meinen Versuchen mit der Jochmethode erreichte größte Wert der Magnetisierung J für reines Eisenpulver etwas über 150 C.G.S.-Einh. lag, zeigten die Resultate meiner letzten Versuche, daß der Sättigungspunkt erst etwa bei dem doppelten Wert erreicht wird.

9. Abänderung der gebräuchlichen ballistischen Ringmethode.

Die nun im folgenden beschriebenen Versuche, durch eine etwas abgeänderte Anwendung des Prinzips der Jochmethode unter Zuhilfenahme eines großen zweipoligen Elektromagneten zu dem gewünschten Ziele zu kommen, stellen die praktische Ausführung eines Vorschlages dar, den ich Herrn Prof. Dr. A. Wehnelt verdanke.

Das unten näher zu beschreibende Verfahren ist im wesentlichen identisch mit der bereits im Jahre 1887 von J. A. Ewing und W. Low[1]) eingeführten „Isthmusmethode“, und aus den von Ewing gemachten Angaben[2]) geht hervor, daß sich die Idee dieser Methode ebenfalls aus der Erkenntnis der Un-

[1]) Proc. Roy. Soc., März 1887; Phil. Trans., 1889 A, S. 221.

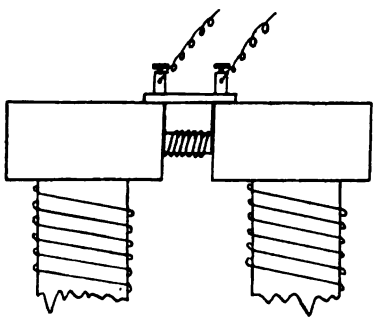
[2]) J. A. Ewing, Magnetische Induktion in Eisen und verwandten Metallen. Deutsche Ausgabe von L. Holborn und St. Lindeck, Berlin und München 1892.

möglichkeit ableitete, mit Hilfe der Felder einer Stromspule Sättigungswerte der Magnetisierung — und zwar für massives Stabeisen — zu erreichen. Dementsprechend wurde die Methode von den genannten Autoren mit großer Vollkommenheit für die Untersuchung massiven Metalls hinsichtlich des Maximums seiner Magnetisierung ausgestaltet.

So war zu erwarten, daß ein ähnliches Verfahren auch in meinem Falle zum Ziele führen und Aufschluß über die Sättigungsverhältnisse des pulverförmigen Eisens geben würde. Bei den ersten Versuchen verfuhr ich nun, wie folgt.

Auf zwei kurze Glasröhrchen von 1,4 cm Durchmesser und 4,2 cm Länge wickelte ich mir je eine kleine Spule aus 0,4 mm dickem, umsponnenem Kupferdraht mit 92 Windungen. Die Stirnflächen des einen Glasröhrchens schloß ich durch zwei sehr dünne Glasplatten von $(3\text{ cm})^2$ ab. Dieselben wurden mit Klebwachs leicht verkittet, und die Enden der aufgewickelten kleinen Probespule unter Vermittlung zweier Drahtstücke mit zwei Klemmschrauben verlötet. Bei dem anderen Glasröhrchen mit der aufgewickelten Probespule verschloß ich zunächst nur die eine Öffnung mit einer kleinen Glasplatte von den beschriebenen Dimensionen; die andere blieb offen, um eine Füllung des Röhrchens mit Eisenpulver ausführen zu können. Erst nachdem dies geschehen war, wurde die andere Öffnung in gleicher Weise abgeschlossen. Auch hier wurden die Enden der kleinen Probespule mit zwei Klemmschrauben verlötet.

Die so entstandenen Spulen wurden nun auf kleinen Brettchen montiert und konnten mit ihrer Hilfe so zwischen die Polschuhe eines großen Elektromagneten eingefügt werden, daß die Achse der Spulen parallel lag mit der Feldrichtung des erregten Elektromagneten, bezw. die Windungsfläche derselben senkrecht zu dieser Richtung stand. Die beigegebene Skizze möge dies veranschaulichen.



Figur 3.

Das Feld zwischen den Polschuhen erwies sich bei einer mittels Probespule an

verschiedenen Stellen vorgenommenen Prüfung als nahezu gleichförmig, und so waren alle Bedingungen für die Ausführbarkeit einer ballistischen Messung der Größen H und J erfüllt.

Eine Fehlerquelle, die das Ewing-Lowsche Verfahren für die Untersuchung massiven Metalls eliminiert, konnte ich allerdings bei meinen zylindrischen Pulverstäbchen nicht vermeiden. Ewing macht nämlich darauf aufmerksam, daß „bei einem kurzen Zylinder, der der Länge nach von einem Polschuh zum anderen reicht, an den Enden die Induktion denselben Wert wie an den angrenzenden Polschuhen, in der Mitte dagegen einen größeren Wert haben wird, da die Induktionslinien von Teilen, die in der Nachbarschaft der Polschuhe liegen, nach dem Probestück hin konvergieren und durch dessen Seiten eintreten." Ewing und Low beseitigen nun diesen Mangel dadurch, daß sie dem zu untersuchenden Stück die Form einer Spule geben, „deren mittlerer Hals kurz und dünn ist, während die Enden in konische Stücke auslaufen, die mit ihren breiten Flächen die Polschuhe bedecken."

Da es indessen mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden gewesen wäre, auch das zu untersuchende Eisenpulver in eine derartige Form zu bringen oder die Polschuhe des mir zur Verfügung stehenden Elektromagneten zweckentsprechender umzugestalten, so behielt ich meine oben beschriebene Anordnung bei. Denn die quantitativen Resultate ballistischer Messungen können ja bei Eisenpulver wegen der unvermeidlichen Glashüllen, die in mehrfacher Hinsicht störend wirken, niemals denselben Anspruch auf absolute Genauigkeit machen wie die für massives Metall gefundenen Werte, während andererseits die qualitativen Unterschiede im Magnetisierungsverlauf für verschieden dichte Pulvergemische dadurch kaum beeinflußt werden können.

Die Ausführung meiner Versuche geschah nun in folgender Weise. Die Enden der kleinen Probespulen wurden durch Vermittlung der aufgesetzten Klemmschrauben unter Vorlegung eines Widerstandes von 2000 Ohm mit einem Deprezgalvanometer von 530 Ohm innerem Widerstand verbunden. Dieses Instrument war bei ziemlich hoher Empfindlichkeit durch sein eigenes starkes Magnetfeld vollkommen geschützt gegen eine von außen kommende Beeinflußung durch die Felder des Elektromagneten.

Bei gleicher Stromstärke brauchte ich nun nur unmittelbar nacheinander zuerst die leere Probespule einzusetzen und dann die mit Eisenpulver gefüllte. Das Mittel aus den (wegen der Remanenz der Polschuhe) um einen sehr geringen Betrag verschiedenen Ausschläge beim Schließen und Öffnen des magnetisierenden Stromes nahm ich dann als ein Maß einmal für die magnetisierende Feldstärke zwischen den Polschuhen, und zwar dann, wenn die leere Probespule eingesetzt war; zweitens aber auch für die magnetische Induktion in dem Eisenpulver, wenn die Probespule mit dem letzteren sich zwischen den Polschuhen befand.

Das einemal berechnete sich H aus der Gleichung

$$H = \frac{Q_1 \cdot w}{q\,n},$$

und das anderemal war

$$\mathfrak{B} = 4\pi J + H = \frac{Q_2 \cdot w}{q \cdot n};$$

hieraus berechnete sich J als

$$J = \frac{\mathfrak{B} - H}{4\pi}.$$

In diesen Gleichungen behalten sämtliche Größen die in Abs. 9 angegebene Bedeutung.

Für Q war wieder die ballistische Galvanometerkonstante C' aus der durch den Widerstand des Sekundärkreises bedingten Dämpfung und der Schwingungsdauer sowie der vorher bestimmten Empfindlichkeit C zu berechnen nach Maßgabe der Beziehung

$$C' = C\frac{\tau}{\pi} k^{\frac{1}{\pi}\operatorname{arc\,tg}\frac{\pi}{\Lambda}},$$

wobei eine zeitweilige Kontrolle der Konstante C nicht versäumt wurde.

Für den Fall, daß Spannungsschwankungen in der Leitung eine Änderung der den Elektromagneten erregenden Stromstärke zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messungen mit den verschiedenen Probespulen bedingten, wurde ein Präzisionsampèremeter in den Stromkreis geschaltet, das Änderungen von 0,01 Ampère leicht erkennen und dementsprechend die fraglichen Beobachtungen eliminieren ließ.

10. Resultate der Messungen mit dem Elektromagneten.

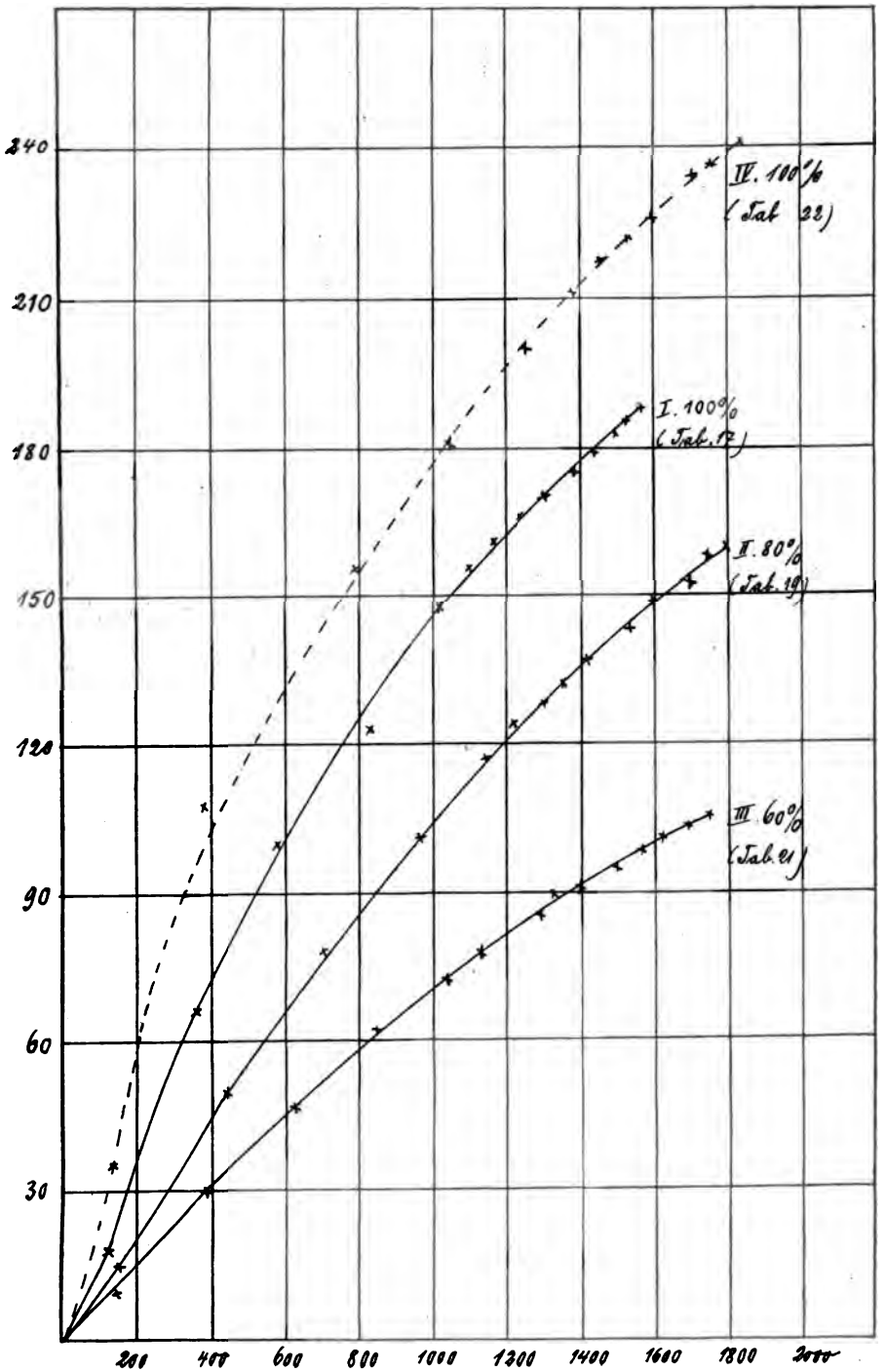
Eine tabellarische Übersicht der Resultate der zuletzt beschriebenen Versuche habe ich ebenfalls im Anhang gegeben. Die erste Rubrik enthält die magnetisierenden Feldstärken H; dann folgen die diesen Werten entsprechenden Magnetisierungen J. In der letzten Rubrik endlich habe ich die mit 10^4 multiplizierten Werte der Suszeptibilität $\varkappa = \frac{J}{H}$ angefügt.

Nun wird die erste Gruppe der beschriebenen Versuche durch die Tabellen 17—21 umfaßt, und Fig. 4 enthält die graphische Aufzeichnung der Zahlen einiger Tabellen.

Bei Versuchsreihe 17 verwendete ich reines Eisenpulver, bei 18 enthielt die Mischung 90 % Eisen und 10 % Kupferbronze, bei 19 80 % Eisen und 20 % Kupferbronze u. s. w. Stärkere Verdünnungen als die Mischung, die 60 % Eisen und 40 % Bronze enthielt, hatte ich bei den Versuchen mit der Magnetometermethode wegen der relativ sehr geringen auftretenden Magnetisierungen nicht mehr untersuchen können. Und, wiewohl die zuletzt beschriebenen Versuche der Untersuchung in dieser Beziehung nicht so schnell eine Grenze gesetzt hätten, ging ich doch auch hier in der Verdünnung einstweilen nicht über die angegebene Grenze hinaus, da es mir vorerst nur darum zu tun war, einige verschieden konzentrierte Mischungen von Eisenpulver überhaupt auf ein Maximum der Magnetisierung zu bringen.

War nämlich die Aufgabe gelöst für reines Eisenpulver, dann war sie voraussichtlich auch für beliebig konzentrierte Gemische mit unmagnetisierbaren Pulvern gelöst; denn schon die ersten Versuche ließen es sehr wahrscheinlich erscheinen, daß der Sättigungswert um so tiefer lag, je größer die Verdünnung war, und gleichzeitig, daß dieser Sättigungswert mit um so geringerer Feldstärke erreichbar sein würde, als die Verdünnung des Eisenpulvers fortschritt. Diese Vermutungen ließen sich schon jetzt durch den Anblick der in Fig. 4 aufgezeichneten Kurven rechtfertigen. Die magnetisierenden Feldstärken H sind, wie bisher stets, als Abszissen und die erreichten Magnetisierungen J als Ordinaten aufgetragen.

Überraschend war nun der Umstand, daß das Resultat der


240
210
180
150
120
90
60
30
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
IV. 100%
(Tab 22)
I. 100%
(Tab. 17)
II. 80%
(Tab. 19)
III. 60%
(Tab. 21)

Figur 4.

ersten Versuche mit dem Elektromagneten zwar schon ein deutliches Zustreben auf ein Maximum der Magnetisierung des Eisenpulvers erkennen ließ, allein zur Erreichung einer vollkommenen Sättigung genügte offenbar auch die bisher angewandte größte magnetisierende Kraft noch immer nicht, trotzdem sie beiläufig zehnmal so groß war als die mit der Stromspirale bei der Magnetometermethode erreichten stärksten Felder. Da ich den Elektromagneten jedoch bereits bis zu seiner Höchstleistung beansprucht hatte, so blieben nur mehr zwei letzte Hilfsmittel übrig, um eine weitere Steigerung der magnetisierenden Felder zu erzielen.

Fürs erste nämlich zeigt ein Vergleich der mit der Magnetometermethode erhaltenen Kurven in Fig. 1 und 2 mit den Kurven I—III in Fig. 4, daß die letzteren gegenüber den ersteren in dem oben beschriebenen Sinn beträchtlich von links nach rechts verschoben sind. Da die in der kleinen Probespule eingeschlossenen und zwischen den Polschuhen des Elektromagneten eingeklemmten Stäbchen aus Eisenpulver ein viel kleineres Dimensionsverhältnis $\frac{l}{d}$ besaßen als die bei den Versuchen mit dem Magnetometer verwendeten Stäbe, so war dies nach den in Abs. 7 gemachten Ausführungen leicht erklärlich. Die Verschiebung der Kurven bewies eben, daß der magnetische Widerstand der das Pulver von der unmittelbaren Berührung mit den Polschuhen abschließenden dünnen Glasplatten noch groß genug war, um die entmagnetisierende Gegenwirkung der durch die Induktion entstehenden Stabpole noch kräftig zur Geltung zu bringen.

Da nun die mit der Magnetometermethode erzielten Kurven infolge der bei der Berechnung in Abzug gebrachten Entmagnetisierung in erster Annäherung den untersten, allerdings nur sehr geringen Teil der Normalkurve für das Eisenpulver darstellen, so mußte es durch eine Verminderung des magnetischen Übergangswiderstandes zwischen Pulverstäbchen und Polschuhen erreichbar sein, die Felder des Elektromagneten für die Magnetisierung noch besser auszunutzen und dadurch die resultierende Kurve rückverschiebend der Normalkurve zu nähern.

Tatsächlich hatte ich, wie die in Fig. 4 noch aufgezeichnete Kurve IV zeigt, den gewünschten Erfolg dadurch erreicht, daß

ich die Glasplatten der das reine Eisenpulver enthaltenden Probespule durch ganz dünne Blättchen aus Eisenblech ersetzte. Dadurch mußte entschieden ein besserer Kraftlinienschluß und mit der Verringerung der Entmagnetisierung eine Verschiebung nach links eintreten, und der Erfolg bestätigte diese Überlegung. Selbstredend hatte ich mich vorher durch Kontrollversuche davon überzeugt, daß die Ersetzung der Glasplatten durch die Blättchen aus Eisenblech an sich keinen Einfluß auf die Angaben des Galvanometers hatte.

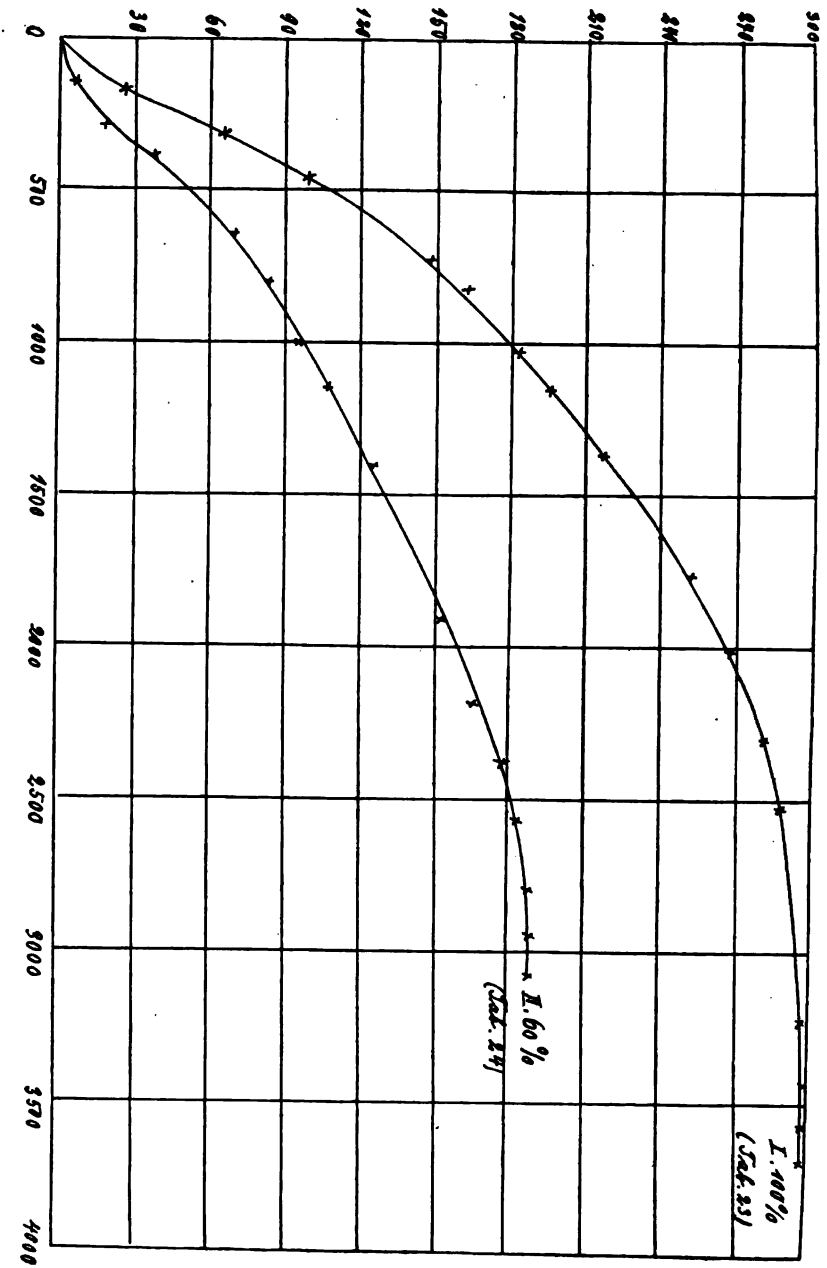
Daß der untere Teil der so erhaltenen Kurve trotzdem noch nicht ganz mit den durch die Magnetometermethode erzielten Kurven für reines Eisenpulver einstimmt, kann weiter nicht wundernehmen; denn nach den in Abs. 6 gemachten Auseinandersetzungen konnte ja die Berechnung der Entmagnetisierung immer nur mit einiger Unsicherheit geschehen, und außerdem blieb ja immer noch der magnetische Widerstand der Fugen zwischen den Eisenblättchen und den Polschuhen, der sich sehr wohl noch geltend machen konnte, da selbst Unregelmäßigkeiten wie Risse oder Sprünge bei geschlossenen Toroiden aus massivem Eisen sich auf diese Weise noch verraten können[1]).

Um nun noch einen Schritt weiter zu kommen, blieb mir nichts anders mehr übrig, als eine nochmalige Steigerung der magnetisierenden Felder durch ein näheres Zusammenrücken der Polschuhe des Elektromagneten und eine dementsprechende Verkürzung der kleinen Probespulen herbeizuführen. Die dadurch bedingte abermalige Verkleinerung des Dimensionsverhältnisses $\frac{l}{d}$ der Pulverstäbchen äußerte sich freilich infolge des trotz der eisernen Abschlußblättchen bei schwachen magnetisierenden Feldern immer noch unvollkommenen Kraftlinienschlusses sofort wieder in einer Rechtsverschiebung der resultierenden Kurve I in Fig. 5, wie ein Vergleich des unteren Teiles dieser Kurve mit der zuletzt besprochenen Kurve IV in Fig. 4 zeigt.

Die Betrachtung der Kurve I in Fig. 5 zeigt nun, daß es

---

[1]) Vgl. H. du Bois, Magnetische Kreise, Berlin und München 1894, § 16, S. 25.


0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
510
1000
1500
2000
2500
3000
3570
4000
I. 100%
(Tab. 33)
II. 60%
(Tab. 34)

Figur 5.

jetzt vollkommen gelungen war, den Verlauf der Magnetisierung für das reine Eisenpulver bis zu seiner Sättigung zu verfolgen. Der Sättigungswert der Magnetisierung J betrug etwas weniger als 300 C.G.S.-Einheiten.

Der nun folgende analoge Versuch mit einer Pulvermischung aus 60% Eisen und 40% Kupferbronze ergab als Resultat die Kurve II in Fig. 5. Sie zeigt den Sättigungswert 190, und somit war der Beweis erbracht, daß

1. bei gleicher magnetisierender Kraft die Magnetisierung des reinen Eisenpulvers stets größer ist als die der weniger dichten Masse, und daß dementsprechend

2. der Sättigungswert des reinen Eisens höher liegt als der Sättigungswert des durch Beimengung unmagnetisierbaren Pulvers verdünnten.

Dabei ist jedoch ausdrücklich hervorzuheben, daß bei Aufstellung dieser und der folgenden Sätze zunächst stets das auf die Volumeinheit bezogene Moment als Maß für die Magnetisierung (J) zu betrachten ist.

Bezeichnen nämlich J_1 und J_2 bezw. die aus Fig. 5 entnommenen Magnetisierungswerte der Kurve I und II für gleiche magnetisierende Kräfte, und bildet man die zu den eingeschriebenen Abszissenwerten gehörigen Quotienten $\frac{J_1}{J_2}$, so ergeben sich die Zahlen der folgenden Tabelle.

H	$\frac{J_1}{J_2}$	H	$\frac{J_1}{J_2}$	H	$\frac{J_1}{J_2}$
200	2,46	1200	1,81	2200	1,59
300	2,30	1300	1,77	2300	1,57
400	2,22	1400	1,76	2400	1,56
500	2,15	1500	1,74	2500	1,55
600	2,14	1600	1,714	2600	1,55
700	2,10	1700	1,710	2700	1,55
800	2,01	1800	1,67	2800	1,55
900	1,96	1900	1,66	2900	1,55
1000	1,91	2000	1,64	3000	1,55
1100	1,85	2100	1,61	3100	1,55

Für $H < 200$ habe ich den Quotienten $\frac{J_1}{J_2}$ deshalb nicht mehr gebildet, weil derselbe infolge der relativ kleinen Werte

von J_1 und J_2 in diesem untersten Intervall jedenfalls nicht mehr als genau hätte betrachtet werden dürfen. Indes zeigt die Tabelle deutlich, daß der Quotient $\frac{J_1}{J_2}$ mit steigender Magnetisierung stetig abnimmt, bis er schließlich den konstanten Wert 1,55 erreicht.

Es erscheint demnach wohl ausgeschlossen, daß bei unbegrenzter Weitersteigerung der magnetisierenden Kraft H das betrachtete Verhältnis jemals den Wert $\frac{J_1}{J_2} = 1$ annehmen könnte, was offenbar der Fall sein müßte, wenn die dem verdünnten Eisenpulver zugehörige Kurve II ihren Sättigungswert mit der Kurve I für reines Eisen gemeinsam hätte.

Am klarsten läßt sich nunmehr das hieraus sich ergebende Gesamtresultat dadurch ausdrücken, daß man an Stelle der Magnetisierung J die jeweilig entsprechenden Werte der Suszeptibilität $\varkappa = \frac{J}{H}$ in den Kreis der Betrachtungen zieht. Nach Ausweis der die Werte $\varkappa = \frac{J}{H}$ enthaltenden letzten Rubrik der Tabellen 17 bis 24 des Anhangs ergibt sich nämlich in Übereinstimmung mit den bisherigen Ausführungen, daß die Suszeptibilität des Eisenpulvers mit zunehmender Verdünnung stets abnimmt. Gerade im entgegengesetzten Sinne wirkt aber eine Vergrößerung des Dimensionsverhältnisses $\frac{l}{d}$ der zu untersuchenden Stäbe, wenn man die Dichte des Pulvers unverändert läßt, da man nach den Angaben des Abs. 7 in diesem Falle stets eine Erhöhung der Suszeptibilität erhält. Im Zusammenhalt mit dem oben abgeleiteten Ergebnis, daß eine Veränderung der Dichte unzweifelhaft immer eine Verschiebung des Sättigungswertes der Größe J bewirkt, muß weiter gefolgert werden, daß beide Veränderungen, nämlich Änderung der Dichte und Änderung des Dimensionsverhältnisses $\frac{l}{d}$, hinsichtlich ihres Einflusses auf den Verlauf der Magnetisierung wesentlich verschieden und überhaupt nicht miteinander vergleichbar sind, soferne, um es noch einmal zu be-

tonen, das auf die Volumeinheit bezogene Moment als Maß für die Magnetisierung betrachtet wird. Denn eine Änderung des Dimensionsverhältnisses verschiebt niemals den in Einheiten dieses Maßes ausgedrückten Sättigungswert.

11. Verallgemeinerung der gewonnenen Resultate.

Dieses letzte, die Sättigungswerte von Eisenpulvern betreffende Resultat gewinnt ein besonderes Interesse durch den Vergleich mit den von zahlreichen Beobachtern klargestellten Magnetisierungsverhältnissen massiven Eisens in allen seinen typischen Gebrauchsformen.

Waltenhofen[1]) hatte nach der Magnetometermethode Stäbe aus Eisenpulver sowie aus kohärentem Stahl und Eisen untersucht und die unter gleichen Umständen sehr bedeutenden Unterschiede in der Magnetisierung des kohärenten Metalles und des Pulvers festgestellt. Zum Vergleich berechnete er jedoch, wie Börnstein, nicht die auf die Volumeinheit, sondern die auf gleiche Gewichte bezogenen magnetischen Momente, indem er seine Untersuchungen mit gleichschweren Stäben aus Eisenpulver und aus kohärentem Eisen anstellte. Für je drei Paare solcher Stäbe bildete er nun das Verhältnis der Magnetisierung des kohärenten Eisens und jener des Pulvers und fand für dieses Verhältnis stetig abnehmende Zahlen, wie ich sie analog für das Verhältnis der auf die Volumeinheit reduzierten Magnetisierungswerte verschieden konzentrierten Eisenpulvers festgestellt habe. An die Mitteilung seines Ergebnisses knüpft Waltenhofen nun die Bemerkung: „Ob diese stetig abnehmenden Zahlen die Einheit zur Grenze haben, d. h. ob jedem der Kurvenpaare je eine gemeinschaftliche Asymptote entspricht, ob also der Gewichtseinheit des pulverförmigen Eisens derselbe Grenzwert des Magnetismus zukommt, wie der des kohärenten Eisens (Stabeisens), — diese Frage läßt sich nach den vorliegenden Versuchen noch nicht mit einiger Sicherheit beantworten. Denkt man sich die Magnetisierung als eine Drehung magnetischer Moleküle, so könnte die im Sinne dieser Hypothese a priori gegebene Antwort wohl kaum anders als dahin ausfallen, daß der temporäre Magnetismus des pulver-

[1]) Wiedem. Annalen, Bd. VII, S. 421 ff. 1879.

förmigen Eisens keinen größeren, wohl aber vielleicht einen kleineren Grenzwert haben könne als der des Stabeisens."

Nun ist strenge festzuhalten, daß die ältere Definition des Begriffes der Magnetisierung, von welcher sowohl Börnstein als Waltenhofen ausgeht, sich wesentlich unterscheidet von der jetzt gewöhnlichen Definition, nach welcher nicht das auf die Gewichtseinheit, sondern das auf die Volumeinheit entfallende Moment als Maß für die Magnetisierung angesehen wird.

Dementsprechend läßt sich die von Waltenhofen und mutatis mutandis auch von Börnstein aufgestellte Frage von zwei verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachten, je nachdem man die eine oder die andere Definition annimmt.

Da ich nun für die auf die Volumeinheit reduzierten Momente verschieden dichten Pulvers mit genügender Sicherheit eine Verschiedenheit der Sättigungswerte nachgewiesen hatte, so lag die Frage nahe, wie sich das Verhältnis der Magnetisierungen nach einer Reduktion meiner Zahlen auf gleiche Gewichtsmengen gestalten würde. Leider war jedoch eine direkte genaue Bestimmung der Gewichtsmenge Eisen, welche sich bei meinem letzten Versuch in der 60%igen Mischung des untersuchten Pulverstäbchens befand, nicht möglich, so daß ich den Reduktionsfaktor nur mit einiger Unsicherheit aus dem Prozentsatz der Mischung und dem Gewicht des Pulverstäbchens berechnen konnte. Es ergaben sich auf diese Weise für das oben betrachtete Verhältnis $\frac{J_1}{J_2}$ Werte, die im Minimum 0,9 erreichten und dann konstant blieben.

Es ist nun einerseits sicher anzunehmen, daß dieser Minimalwert infolge der Unsicherheit der Berechnung zu klein ausfiel, aber andrerseits ist sehr zu bezweifeln, ob der genaue Wert mit der Einheit zusammenfällt. Wäre dies der Fall, so läge hierin eine Bestätigung der von Börnstein ausgesprochenen Vermutung, daß unter Voraussetzung gleicher Gewichtsmengen des Metalles das reine Eisenpulver denselben Sättigungswert besitze wie das durch Beimengung unmagnetisierbaren Pulvers verdünnte. Hieraus ergäbe sich ferner begründeter Anlaß, auch die von Waltenhofen angezogene Frage, ob die magnetischen Momente gleicher Gewichtsmengen von kohärentem Stab-

eisen und Eisenpulver denselben Sättigungswert besitzen, in bejahendem Sinne zu beantworten, da ja das Eisenpulver wieder als ein bestimmter Verdünnungsgrad des kohärenten Stabeisens angesehen werden kann.

Nach den, allerdings mit einem gewissen Vorbehalt gemachten, Angaben Waltenhofens ist es jedoch sehr wahrscheinlich, daß die tatsächlichen Ergebnisse einer Vergleichung der magnetischen Momente gleicher Gewichtsmengen von Stabeisen und Eisenpulver in der Nähe ihres Sättigungswertes zu einer Entscheidung in entgegengesetztem Sinn führen würden. Ich vermochte leider nicht festzustellen, ob von seiten Waltenhofens oder anderer Beobachter neuere Untersuchungen vorliegen, die sich auf den Vergleich der Momente gleicher Gewichtsmengen beziehen, da alle mir bekannt gewordenen neueren Arbeiten das auf die Volumeinheit bezogene Moment zur Vergleichsgrundlage benutzen, worüber unten noch zusammenfassende Angaben folgen werden.

Zunächst ist aber als feststehend noch hervorzuheben, daß nach den Beobachtungen Waltenhofens das pulverförmige Eisen bei gleicher magnetisierender Kraft stets ein viel geringeres magnetisches Moment aufweist als die gleiche Gewichtsmenge massiven Stabeisens. Ebenso fand Waltenhofen, wie bereits erwähnt, für locker liegendes Eisenpulver kleinere Werte als für gleichschwere Proben von ebensolchem, das durch Zusammenklopfen verdichtet war, und analog fand ich nach den in Abs. 7 gemachten Angaben ebenfalls für das durch Beimengung unmagnetisierbarer Substanz verdünnte Eisenpulver nach Reduktion auf gleiche Gewichtsmengen Eisen stets kleinere Werte als für das reine Eisenpulver.

Die neueren Arbeiten, welche für die magnetische Untersuchung massiven Eisens nicht das auf die Gewichts-, sondern das auf die Volumeinheit bezogene Moment als Vergleichsgrundlage benutzen, liefern im Vergleich mit den auf derselben Grundlage von mir abgeleiteten Sätzen über das magnetische Verhalten von Eisenpulver eine mit der obigen vollkommen übereinstimmende Abstufungsreihe für die Magnetisierungsunterschiede von massivem Eisen als oberstem und verdünntem Eisenpulver als unterstem Dichtegrad. Dies spricht wohl dafür, daß die Vergleichung der Momente gleicher Gewichts-

mengen auch bezüglich der Sättigungsverhältnisse zu denselben Ergebnissen geführt haben würde wie die bei den neueren Untersuchungen bevorzugte Vergleichung der Momente gleicher Volumteile. Dadurch erhält dann auch der im vorigen Absatz abgeleitete Satz über den Unterschied des Einflusses von Änderungen des Dimensionsverhältnisses und Änderungen der Dichte allgemeine Gültigkeit.

Die in der bereits mehrfach zitierten Monographie von Ewing gemachten Angaben über die in C.G.S.-Einheiten ausgedrückten und auf die Volumeinheit bezogenen Sättigungswerte von Gußeisen, Schmiedeeisen und Stahl[1]) führen nämlich in Vereinigung mit meinen in derselben Maßeinheit ermittelten Sättigungswerten für verschieden dichtes Eisenpulver zu der folgenden klaren Übersicht.

Material	Ungefährer Sättigungswert	Notwendige magnet. Kraft	Bemerkungen
Schmiedeeisen . . .	1700	2000	Mittelwerte für 3 verschiedene Sorten
Stahl	1590	18180	Mittelwerte für 7 verschiedene Sorten
Gußeisen	1240	4000	
Reines Eisenpulver . (leicht zusammengepreßt)	296	3660	
Eisenpulver, verdünnt mit 40% Kupferbronze (leicht zusammengepreßt)	190	3070	

Die durch das magnetische Moment der Volumeinheit gemessenen Sättigungswerte des Eisenpulvers sind also bedeutend kleiner als diejenigen des massiven Eisens und, wenn man das massive Eisen lediglich durch seinen höheren Dichtegrad von dem Eisenpulver unterscheidet, so führt dies zu dem allgemeinen Satz:

Der magnetische Sättigungswert des Eisens sinkt mit abnehmender Dichte desselben.

Ob sich allerdings auch für die verschiedenen Darstellungsformen des massiven Eisens als Schmiedeeisen, Stahl und

[1]) Vgl. Ewing, Magn. Ind. etc., 7. Kap., S. 128 ff.

Gußeisen ein vollkommener Parallelismus zwischen ihren Dichteunterschieden und den Unterschieden ihrer magnetischen Sättigungswerte nachweisen läßt, vermag ich nicht zu entscheiden. Immerhin ist es bemerkenswert, daß dem Gußeisen, welches durchschnittlich eine geringere Dichte besitzt als Schmiedeeisen und Stahl, auch ein wesentlich geringerer magnetischer Sättigungswert zukommt als diesen beiden letzteren, für welche sowohl die Unterschiede der Dichte als auch diejenigen der magnetischen Sättigungswerte relativ gering sind. Doch haben auf die Magnetisierungs- und Sättigungsverhältnisse des massiven Eisens außer der Dichte bekanntlich noch zahlreiche andere, z. T. verwickelte Ursachen Einfluß. Merkwürdigerweise besitzt z. B. nach Ewing Bessemerstahl mit etwa 4% Kohlenstoff einen beträchtlich höheren magnetischen Sättigungswert als andere Stahlsorten mit viel geringerem Kohlenstoffgehalt.

Was schließlich die zur Erreichung der Sättigungswerte aufzuwendenden magnetisierenden Kräfte anlangt, so bestätigt sich die diesbezügliche Annahme Börnsteins.

In der Tat wird der Sättigungswert für reines Eisenpulver erst später erreicht als für das durch Beimengung unmagnetisierbarer Substanz verdünnte.

Für die Dichteunterschiede von massivem Schmiedeeisen, Gußeisen und Stahl gilt dieser Satz dagegen keinesfalls, vielmehr scheinen nach Ausweis der einschlägigen Literatur Dichteunterschiede in dieser Hinsicht gegenüber den Wirkungen anderer Veränderungen nur von sehr geringem Einfluß zu sein.

12. Übersicht der Resultate.

1. Die Magnetometermethode ist auch für die Untersuchung von pulverförmigem Eisen unzureichend, wenn es sich darum handelt, den Verlauf der Magnetisierung bis zur Sättigungsgrenze zu verfolgen.

Ferner gelten, ohne Rücksicht darauf, ob die magnetischen Momente gleicher Volumteile oder gleicher Gewichtsmengen verglichen werden, die folgenden Sätze:

2. Bei gleicher magnetisierender Kraft ist die Mag-

netisierung und die Suszeptibilität reinen Eisenpulvers stets größer als diejenige einer Mischung von Eisenpulver mit unmagnetisierbarer Substanz.

3. Dementsprechend liegt der magnetische Sättigungswert reinen Eisenpulvers stets höher als der Sättigungswert des verdünnten.

Unterscheidet man das massive Stabeisen von dem pulverförmigen Eisen lediglich durch den Dichtegrad, so lassen sich diese Sätze unter Beachtung der im vorigen Absatz gemachten Einschränkungen verallgemeinern, d. h.

4. Die Magnetisierung des Eisens sinkt cet. par. mit seiner Dichte, und
5. Der magnetische Sättigungswert des Eisens ist dementsprechend um so kleiner, je geringer seine Dichte ist.
6. Die zur Erreichung des magnetischen Sättigungswertes nötige magnetisierende Kraft ist für reines Eisenpulver größer als für verdünntes. (Eine Verallgemeinerung auf die für massives Eisen geltenden Verhältnisse läßt dieser Satz nicht zu.)
7. Änderungen in der Dichte des zu untersuchenden Eisenmaterials sind bezüglich ihres Einflusses auf den Verlauf der Magnetisierung wesentlich verschieden und deshalb auch nicht vergleichbar mit Änderungen des Dimensionsverhältnisses der zylindrischen oder ellipsoidischen Form, in welcher das Material untersucht wird.

Wenn die Ergebnisse vorliegender Arbeit in einigen wesentlichen Punkten als eine definitive Klarstellung der in der älteren Arbeit von Börnstein berührten Fragen angesehen werden dürfen, so schreibe ich diesen Erfolg lediglich den bedeutenden Hilfsmitteln zu, welche mir in der Benutzung der neueren Fachliteratur und in der liebenswürdigen Unterstützung meiner verehrten Lehrer am hiesigen physikalischen Laboratorium zur Verfügung standen. Den Herren Prof. Dr. E. Wiedemann, Prof. Dr. G. C. Schmidt, Prof. Dr. A. Wehnelt und Dr. R. Reiger spreche ich deshalb an dieser Stelle noch meinen herzlichsten Dank aus.

Anhang: Tabellen.

Versuchsreihe A.

Tabelle 1.
(100% Eisen.)

H	J
12,61	5,43
31,12	11,96
45,78	17,56
59,37	25,11
75,67	32,63
87,85	39,16
100,87	48,93
117,69	54,38
137,45	63,07
153,42	70,68
173,61	78,28
181,58	84,79

Tabelle 2.
(95% Eisen.)

H	J
21,04	5,43
38,30	9,78
53,02	15,22
70,26	19,58
87,09	25,01
97,61	30,46
117,0	34,8
147,28	43,5
170,83	52,29
188,45	56,55

Tabelle 3.
(90% Eisen.)

H	J
19,15	4,01
37,05	7,61
54,30	11,96
69,44	16,31
84,59	20,67
99,75	25,01
113,17	28,28
126,26	32,63
137,58	35,89
156,96	40,24
137,82	45,68
191,01	50,03

Tabelle 4.
(85% Eisen.)

H	J
19,79	3,23
39,58	6,54
57,26	9,78
73,26	11,96
88,83	15,22
102,7	17,55
116,2	20,67
129,7	23,91
141,0	27,19
158,7	30,46
178,1	34,80
193,6	38,07

Tabelle 5.
(80% Eisen.)

H	J
20,22	2,14
38,51	3,88
54,76	6,1
85,91	11,96
100,36	12,81
114,1	15,22
127,99	17,55
139,5	20,67
157,5	22,84
189,5	27,19
199,14	29,37

Tabelle 6.
(75% Eisen.)

H	J
22,34	2,14
40,88	3,23
58,97	5,43
77,08	7,61
93,09	9,78
111,02	11,96
139	16,31
153,4	17,17
175,6	19,58
197,5	22,84
216,9	27,19
232,5	30,46

Tabelle 7.
(70% Eisen.)

H	J
41,31	2,14
59,58	3,88
77,51	6,54
93,95	7,61
110,0	9,78
124,3	10,64
140,7	11,96
152,5	14,14
172,7	16,31
195,4	17,55

Versuchsreihe B.

Tabelle 8.
(100 % Eisen.)

H	J
31,06	12,76
48,25	21,28
63,64	28,37
80,98	36,17
96,1	44,67
109,3	51,76
121,8	58,13
133,9	65,21
147,6	70,81
158,8	77,23
178,5	84,29
187,3	92,05

Tabelle 9.
(95 % Eisen.)

H	J	J'
31,34	11,45	12,02
52,62	20,57	21,59
68	27,66	29,04
85,34	35,46	37,23
102,9	42,40	44,52
116,1	49,63	52,11
129,4	56,72	59,55
145,0	63,08	66,23
158,6	68,04	71,44
176,0	75,81	79,60
197,5	84,29	88,50

Tabelle 10.
(90 % Eisen.)

H	J	J'
31,65	9,93	11,61
51,84	16,1	18,83
67,52	19,86	23,23
83,20	27,1	31,70
100,6	33,33	38,99
116,2	39,01	45,64
129,8	44,67	55,26
143,5	49,63	58,06
157,4	53,88	63,03
176,6	60,25	70,49
194,6	67,33	78,77

Tabelle 11.
(85 % Eisen.)

H	J	J'
29,87	8,36	10,27
50,02	12,77	15,70
63,46	19,15	23,57
81,23	24,83	30,54
97,01	29,79	36,64
110,8	34,75	42,74
124,5	39,71	48,84
144,2	46,09	56,69
156,2	49,63	61,04
188,4	56,72	69,76
197,9	61,67	75,85

Tabelle 12.
(80 % Eisen.)

H	J	J'
30,17	6,94	9,16
50,30	11,45	15,11
66,30	15,59	20,57
81,68	22,70	29,96
97,8	26,25	34,65
111,8	29,79	39,32
125,9	33,34	44,00
140,1	35,46	46,80
158,1	40,42	53,35
169,7	45,38	59,90
189,7	50,34	66,44
199,8	52,47	69,26

Tabelle 13.
(75 % Eisen.)

H	J	J'
28,17	6,076	8,61
46,40	9,929	14,10
68,41	15,59	22,13
82,27	19,86	28,20
96,5	22,70	32,23
112,5	26,25	37,27
124,5	29,79	42,30
136,5	32,63	46,33
154,5	37,59	53,37
172,5	41,84	59,41
190,6	46,09	65,44
198,6	48,22	68,47

Tabelle 14. (70 % Eisen.)

H	J	J'
34,64	5,67	8,57
50,76	9,27	14,10
67,16	11,45	17,51
85,41	14,90	22,79
101,7	17,73	27,12
117,9	20,57	31,47
132,1	23,41	35,81
150,1	27,66	42,31
172,5	31,91	98,82
192,7	35,46	54,25
202,9	37,59	57,51

Tabelle 15. (65 % Eisen.)

H	J	J'
30,73	4,26	7,02
51,24	6,94	11,45
67,47	9,93	16,38
83,74	12,77	21,07
102,2	15,59	25,72
116,4	17,73	29,25
130,8	19,86	32,76
145,0	21,99	36,28
159,7	22,51	37,14
177,7	26,95	44,46
198,2	29,79	49,15
204,2	31,21	51,49

Tabelle 16. (60 % Eisen.)

H	J
30,73	4,26
49,14	6,94
65,52	9,22
81,91	11,45
98,2	14,19
114,6	16,32
128,8	19,15
141,0	21,28
157,4	23,41
169,6	25,54
185,9	28,37
204,1	31,91

Tabellen zu den Versuchen mit dem Elektromagneten.

Tabelle 17. (100 % Eisen.)

H	J	$\frac{J}{H} \cdot 10^4$
131	17,8	1349
357	66,1	1851
576	99,7	1732
833	123	1473
1012	148	1464
1092	157	1438
1151	162	1404
1231	167	1355
1290	171,5	1329
1389	176	1246
1448	180	1227
1489	184	1226
1529	186,5	1220
1555	188	1222

Tabelle 18. (90 % Eisen.)

H	J	$\frac{J}{H} \cdot 10^4$
158	17,8	1112
397	57,3	1443
635	95,01	1496
893	122	1321
1052	137,5	1307
1132	146,3	1293
1211	154	1272
1290	156,4	1212
1350	161,1	1193
1429	169,9	1189
1489	172,7	1160
1568	174	1109
1628	177,7	1086
1687	179	1076

Tabelle 19. (80 % Eisen.)

H	J	$\frac{J}{H} \cdot 10^4$
159	15,7	987
437	50,3	1152
695	78,9	1136
953	103	1049
1132	118	1042
1211	125	1030
1290	128	991
1350	133	982
1409	137	975
1528	143	936
1589	150	942
1687	153	907
1727	159	923
1787	160	847

Tabelle 20. (70 % Eisen.)

H	J	$\frac{J}{H} \cdot 10^4$
133	11,1	837
380	36,8	967
627	58,7	936
835	76,8	897
1045	90,2	862
1083	93	858
1197	100,3	837
1254	104,8	835
1331	109,5	823
1426	116,4	816
1521	117,9	775
1559	122,2	783
1616	123,4	663
1692	127,9	756

Tabelle 21.

(60% Eisen.)

H	J	$\frac{J}{H} \cdot 10^4$
152	7,8	512
380	29,5	776
627	46,1	734
855	62,3	728
1045	70,7	676
1143	76,4	668
1292	85,6	647
1330	89,7	643
1407	88,9	635
1502	95,1	633
1559	98,6	632
1616	101,3	627
1692	103	605
1730	106,7	595

Tabelle 22.

(100% Eisen.)

H	J	$\frac{J}{H} \cdot 10^4$
159	34,6	2180
378	107,9	2852
774	155,8	2013
1032	180,6	1750
1251	201	1607
1370	212,4	1551
1449	219,3	1514
1509	224	1485
1588	229	1442
1687	236,3	1401
1747	239	1369
1826	242,2	1327

Tabelle 23.

(100% Eisen.)

H	J	$\frac{J}{H} \cdot 10^4$
186,3	26,09	1400
310,5	68,68	2212
465,7	102,4	2199
714,1	150,9	2113
838,3	166,2	1982
1025	185,9	1814
1149	197	1715
1366	219,6	1608
1770	260	1480
2018	269,4	1335
2298	280,7	1222
2515	286,6	1139
3229	296,9	919
3416	302,9	887
3571	296,9	831
3664	295,9	807

Tabelle 24.

(60% Eisen.)

H	J
155,3	6,53
298,4	20,09
403,7	41,3
652,0	68,75
807,3	83,72
993,6	93,03
1149	107,8
1397	128
1894	157,6
2174	173,2
2360	182,5
2577	185,2
2795	191,9
2950	189,0
3074	189,6

Über Potentialmessungen im Joddampf.

Von W. Matthies.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Eingegangen am 24. März 1905.

In einer an anderem Orte veröffentlichten Untersuchung[1]) habe ich auf Veranlassung von Professor Dr. E. Wiedemann in den Dämpfen von $HgCl_2$, $HgBr_2$, HgJ_2 den Potentialgradienten auf der positiven, ungeschichteten Säule und den Anoden- und Kathodenfall bestimmt. Nach der dort eingehend beschriebenen Methode habe ich analoge Messungen auch bei dem Dampfe des Jods angestellt, deren Hauptergebnisse kurz im folgenden mitgeteilt sind.

Der Druck im Entladungsrohr wurde den im hiesigen Institut gewonnenen Tabellen von K. Stelzner[2]) und G. Niederschulte[3]) entnommen.

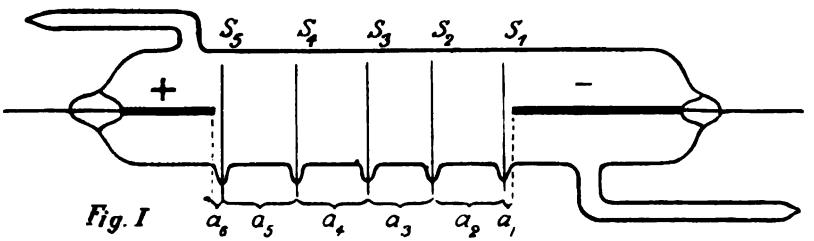


Fig. I

Die Messungen wurden in ca. 18 cm langen, 3—4 cm weiten Entladungsröhren ausgeführt, deren Gestalt die Figur 1 wiedergibt. Sie enthielten 0,2 cm dicke, konaxiale Platindrahtelektroden und fünf Sonden aus gleichem Material.

---

[1]) Verh. Bd. 13, S. 189. 1905.

[2]) J. Stelzner, Inaug.-Diss., Erlangen 1901 und Verhandl. d. Phys. Ges. 1904.

[3]) G. Niederschulte, Inaug.-Diss., Erlangen 1903 und Verhandl. d. Phys. Ges. 1904.

In den im folgenden mitgeteilten Tabellen bedeutet t die Temperatur der Entladungsröhren, p den Dampfdruck in mm Hg, i die Stromstärke in 10^{-3} Ampère, V_K den Kathoden- V_A den Anodenfall in Volt und endlich $\frac{\Delta V}{\Delta x}$ den zwischen den verschiedenen Sonden S_1 bis S_5 bestimmten mittleren Gradienten in Volt pro cm. Die Abstände der Sonden von den Elektroden und voneinander sind mit a_1 bis a_6 bezeichnet (siehe Figur 1).

Ergebnisse.

1. Die Glimmentladung im Joddampf ist dem Wesen nach derjenigen elementarer Gase und der Dämpfe der Quecksilberkaloidverbindungen analog.

Bei tiefen Drucken zeigt der Joddampf eine prachtvoll orangegelbe Kathodolumineszenz, die mit der von E. Lommel[1]) durch konzentriertes Sonnenlicht hervorgerufenen Fluoreszenz identisch zu sein scheint. Das Kathodolumineszenzlicht hat ein vom Rot bis zum Grün reichendes, kontinuierliches Spektrum. Die Stromstärken dürfen nicht zu groß sein, da sonst das sehr intensive pfirsichblütfarbene positive Licht[2]) jenes teilweise oder völlig überdeckt.

Eine Schichtung des positiven Lichts tritt relativ selten auf.

2. Die Tabellen 1 und 2 geben die Resultate der bei verschiedenen Drucken und konstanter Stromstärke angestellten

Tabelle 1.

$i = 0{,}083$.

t	p	V_K	$\frac{\Delta v}{\Delta x}$ zwischen				V_A
			S_1—S_2	S_2—S_3	S_3—S_4	S_4—S_5	
		$a_1 = 0{,}2$	$a_2 = 2{,}0$	$a_3 = 2{,}2$	$a_4 = 2{,}1$	$a_5 = 1{,}85$	$a_6 = 0{,}25$
23°,0	0,32	393,6	23,0	27,2	25,9	28,3	159,9
36,7	0,96	377,2	54,0	77,6	80,3	82,9	180,4
42,5	1,40	377,2	60,5	109,7	120,5	122,1	178,2
46,2	1,80	379,3	75,0	132,0	143,7	152,2	173,2
51,4	2,60	382,2	104,5	173,4	184,2	199,8	168,1
57,2	3,76	384,4	166,0	227,8	195,0	255,3	211,1

[1]) E. Lommel, Wied. Ann. Bd. 19, S. 391. 1883.

[2]) A. Kalähne, Wied. Ann. Bd. 65, S. 824. 1898.

Tabelle 2.

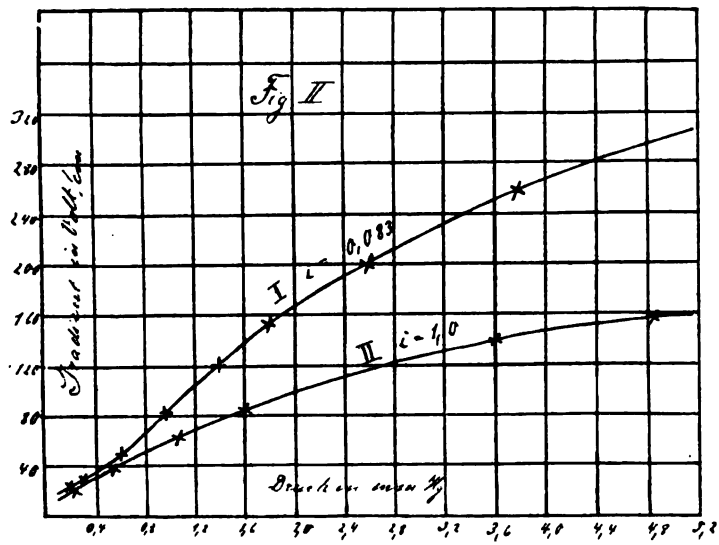
$i = 1{,}0$.

t	p	V_K	$\frac{\Delta v}{\Delta x}$ zwischen				V_A
			$S_1 - S_2$	$S_2 - S_3$	$S_3 - S_4$	$S_4 - S_5$	
		$a_1 = 0{,}2$	$a_2 = 2{,}0$	$a_3 = 2{,}2$	$a_4 = 2{,}1$	$a_5 = 1{,}85$	$a_6 = 0{,}25$
20,8	0,25	719,5	22,5	23,2	25,4	23,8	116,8
29,5	0,56	620,1	39,5	40,0	42,6	43,3	133,2
38,3	1,06	546,3	56,5	59,0	63,7	66,6	66,6
44,4	1,60	501,2	71,0	74,4	72,0	86,5	84,0
56,5	3,60	442,8	111,5	125,5	138,6	140,0	117,8

Potentialmessungen wieder. Da das ungeschichtete positive Licht sich stets bis dicht vor die Kathode erstreckte und die Sonden S_2 bis S_5 demnach immer in ihm enthalten waren, so sind die zwischen den letzteren gemessenen Gradienten die auf der positiven Säule.

Aus den Tabellen folgt, daß die Gradienten längs der ganzen Strombahn relativ hoch und auf der positiven Säule nicht konstant sind, sondern im allgemeinen von der Kathode zur Anode wachsen.

3. Die Gradienten wachsen mit steigendem Druck. Die Art der Änderung des Gradienten auf der positiven Säule in der Nähe der Anode zeigt sich in den in Figur 2 für die



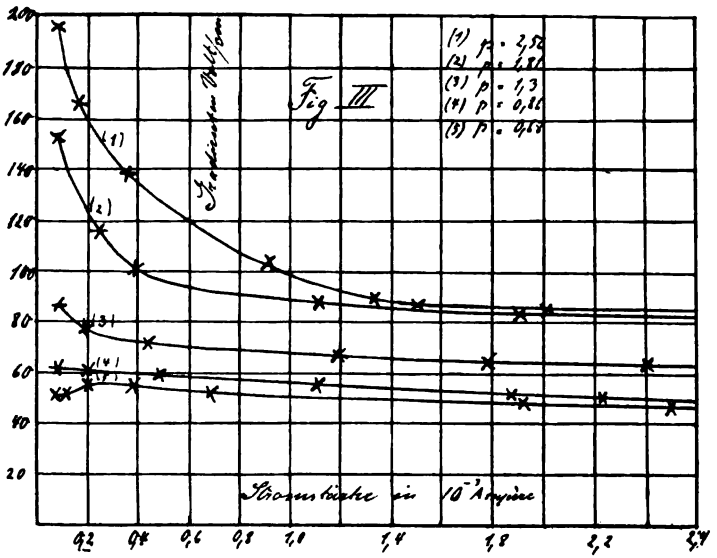
Stromstärken $i = 0{,}083$ und $i = 1{,}10$ gezeichneten Kurven. Hiernach wachsen sie im allgemeinen langsamer als der Druck. Für kleine Stromstärken nimmt der Gradient allerdings zunächst ein wenig schneller zu als der Druck, wie dies Kurve 1 deutlich erkennen läßt.

Nebenbei sei bemerkt, daß der Typus der entsprechenden Kurven für die Quecksilberhaloidverbindungen der analoge ist.

4. Die Abhängigkeit des Gradienten aut der ungeschichteten positiven Säule von der Stromstärke ist eine sehr komplizierte und für verschiedene Drucke sehr verschieden; für höhere Drucke

Tabelle 3.

$t = 31{,}6$ $p = 0{,}68$		$t = 35{,}0$ $p = 0{,}86$		$t = 39{,}2$ $p = 1{,}3$		$t = 46{,}2$ $p = 1{,}81$		$t = 51{,}2$ $p = 2{,}56$	
i	$\frac{\Delta v}{\Delta x}$	i	$\frac{\Delta v}{\Delta x}$	i	$\frac{\Delta v}{\Delta x}$	i	$\frac{\Delta v}{\Delta x}$	i	$\frac{\Delta v}{\Delta x}$
0,075	51,0	0,083	62,3	0,083	86,7	0,092	152,8	0,83	196,9
0,092	50,0	0,217	61,1	0,192	77,3	0,25	115,4	0,166	167,2
0,217	54,5	0,482	59,8	0,45	72,8	0,39	101,0	0,36	138,6
0,385	54,0	1,11	54,5	1,2	66,5	1,12	88,5	0,93	104,7
0,682	51,7	1,87	51,6	1,78	65,0	1,51	88,0?	1,34	90,2
1,93	48,0	2,23	50,7	2,4	63,5	1,91	83,8	2,05	84,7
2,50	47,2	2,80	50,0	2,8	62,1	—	—	2,80	84,1



ist die Änderung größer als für tiefere. Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 3 und in den Kurven der Figur 3 niedergelegt.

5. Der in verschiedenen Röhren übereinstimmend gefundene normale Kathodenfall in Joddampf beträgt gegen Platin 377 Volt; er ist von Druck und Stromstärke unabhängig.

6. Wie die Tabellen 1 und 2 zeigen, ist das Anodengefälle erheblich vom Druck und von der Stromstärke abhängig. Der kleinste beobachtete Wert war 66,6 Volt.

Das Munddach der Saurier[1].

Von A. Fleischmann.

Aus dem zoologischen Institute der Universität Erlangen.

Vorgelegt in der Sitzung vom 13. Februar 1905.

Durch die Studien meiner Schüler A. Beecker und W. Blendinger wurde ich auf die Unsicherheit aufmerksam, welche in den Beschreibungen des Munddaches der Amnioten, besonders der Beziehungen zwischen Choane und Gaumenfalten herrscht. Daher veranlaßte ich Herrn O. Hofmann zunächst das Munddach der Saurier und seine Entwicklung von frühen embryonalen Stadien an zu untersuchen. Die wesentlichen Ergebnisse lauten:

1. Die am Munddache der Saurier zu beiden Seiten des Vomerpolsters liegenden langen Spalten sind die wahren (primitiven) Choanen des Nasenschlauches.

2. Die Gaumenrinne oder Fissura palatina lateralis (Michalkovics) ist ein Teil des Nasenschlauches selbst, nämlich der absteigende Schenkel des Choanenganges samt der Winkeltasche.

3. Die von Busch eingeführten Begriffe: „Nasengaumenspalte“ und „innere Vorhöhle des Nasenganges“ sind aufzugeben, ebenso der Ausdruck „innere Choane“ (Born).

4. Die sog. Gaumenblätter oder Gaumenfortsätze sind nicht seitliche Falten, sondern Abschnitte der soliden Munddecke (Kieferspange).

5. Die Choanen schauen bei allen Saurierarten direkt in die Mundhöhle, nie in einen besonderen von ihr abgegliederten Seitenraum.

6. Der sog. Ductus nasopharyngeus der Scinciden ist ein vorderer Teil der Orbitalmulde, welcher von den median verbreiterten Palatopterygoidkanten verdeckt wird. Seine Homologie mit dem gleichnamigen Kanal der Säugetiere ist nicht erwiesen.

---

[1]) Die ausführliche Abhandlung ist im Morpholog. Jahrbuche Bd. 33 erschienen.

Über spezifisches Heufieberserum.

Von Wolfgang Weichardt.

Aus dem hygienisch-bakteriologischen Institut der Universität Erlangen.

Vorgetragen in der Sitzung vom 5. Juni 1905.

Einer unserer bedeutendsten Bakteriologen soll die Auffindung des spezifischen Heufieberserums als eines der bemerkenswertesten wissenschaftlichen Ereignisse des letzten Lustrums bezeichnet haben.

Ob diese Meinung ganz richtig ist, dürfte mindestens unsicher sein; denn der Ausspruch geschah zweifellos, weil es den Anschein hatte, als wäre durch diese Entdeckung der pathologischen Forschung eine neue Bahn gewiesen worden.

Das ist aber nicht der Fall. Denn die Grundlage, auf welcher die Auffindung des spezifischen Heufieberserums ruht, war bereits gegeben. Zunächst in den Lehren unserer großen Immunitätsforscher, dann aber in der theoretischen Feststellung der Ätiologie eines in gewisser Beziehung mit der Ätiologie des Symptomkompleesx des Heufiebers vergleichbaren Prozesses.

Was zunächst den Stand der wissenschaftlichen Anschauungen über die Ätiologie des Heufiebers anfangs des Jahres 1902 anbelangt, so war bereits längst, und zwar im Anfang des vorigen Jahrhunderts, durch englische Autoren festgestellt worden, daß mittels Einbringen von Pollen in die Augen von Heufieberkranken pathologische Erscheinungen hervorgerufen werden können: Rötung, Schwellung, Brennen und Tränenabsonderung. Unter dem Einflusse der bakteriologischen Aera wurde während der letzten Lustren des vorigen und während der ersten Jahre unseres Säkulums nach spezifischen Heufiebererregern in Gestalt von Mikroorganismen gesucht. Meinte man doch sogar, man habe den spezifischen Erreger gefunden. So

wurden z. B. am Hamburger hygienischen Institute, kurz vor meinem Eintritt in dasselbe, aus der Nase von Heufieberkranken Kokken gezüchtet, die als Erreger des Heufiebers dort angesehen wurden.

Auch von anderer Seite waren vorwiegend Streptokokken gezüchtet worden, die als wahrscheinliche Heufiebererreger gelten konnten.

Diese Befunde waren nicht allzu befriedigend. Sie genügten namentlich den Anforderungen der modernen Immunitätsforschung nicht.

Mir schienen nun ätiologisch große Analogien zu bestehen zwischen einem Symptomkomplex, der scheinbar unendlich weit von dem des Heufiebers entfernt ist, nämlich dem kurz vorher am Schmorlschen Laboratorium von mir bearbeiteten Symptomkomplex der Eklampsie und dem Symptomkomplex des Heufiebers. In beiden Fällen gelangen Eiweißpartikel in die Körpersäfte und fallen dort der inneren Verdauung anheim, d. h. sie werden der Einwirkung der Cytolysine ausgesetzt; in dem einen Falle sind es die Eiweiße der Gramineenpollen, in dem anderen Falle die Syncytialzelleneiweiße.

Ich schlug deshalb, mit der Suche nach dem Streptokokkus des Heufiebers betraut, vor, doch lieber Kaninchen mit Gramineenpollen zu injizieren, um eventuell ein spezifisches Serum zu gewinnen, und vermochte auch sofort die geäußerten Zweifel, ob nicht die Tiere bei intravenöser Injektion so großer Zellpartikel zugrunde gehen würden, durch Hinweis auf meine kurz vorher am Schmorlschen Laboratorium ausgeführten Injektionsversuche mit Plazentarbestandteilen zu beseitigen. Bald war es möglich, an den Augen eines Heufieberkranken zu zeigen, daß durch Gramineenpollenaufschwemmung das eine Auge, in welches das spezifische Kaninchenserum eingeträufelt worden war, nicht reagierte, während das andere serumfreie Auge nach Einbringen der gleichen Menge von Pollen sich lebhaft rötete.

Meine Befriedigung über den auf meinen Vorschlag hin erzielten Erfolg war übrigens um so größer, als umgekehrt die Analogieschlüsse, welche zu dem Vorschlag geführt hatten, wegen dieses so überzeugenden Experimentalversuches sich als vollkommen stichhaltig erwiesen.

Soviel von der Geschichte des Heufieberserums. Es sei

mir nunmehr gestattet, gewisse bei der Injektion von Pollen an größeren Tieren gewonnene interessante Erfahrungen von allgemeinem Interesse zu besprechen.

So z. B. gingen Ziegen, welche behufs Gewinnung größerer Mengen von spezifischem Serum wiederholt intravenös mit Gramineenpollen injiziert worden waren, nachdem sie mehr und mehr sich gegen die Injektion als empfindlich gezeigt hatten, bisweilen rapid zugrunde.

Wie ist diese sich steigernde Überempfindlichkeit, die sich ebenso einzustellen pflegt, wenn Plazentarbestandteile injiziert werden, zu deuten? Die einfachste Erklärung gibt hierfür der bekannte Pfeiffersche Versuch: Werden einem Tiere wiederholt Cholerabazillen intraperitoneal injiziert, so erlangt dessen Serum die Fähigkeit, in vitro und im Tierkörper Cholerabazillen aufzulösen.

Hierbei werden Gifte frei, sogenannte Endotoxine. Werden einem derart mit Bazillen behandelten Tiere große Mengen der gleichen Bazillen intravenös injiziert, so geht es daher zumeist rasch an Vergiftungserscheinungen zugrunde; denn in dem Falle ist die Menge der freiwerdenden tödlichen Gifte eine so große, daß ein wenig etwa gebildetes Antitoxin (Endoantitoxin) quantitativ nicht zur Geltung kommen kann.

Ganz ähnliches geschieht auch bei der vorhin beschriebenen Injektion von Pollen oder von Plazentarbestandteilen: je öfter sie wiederholt wird, je mehr giftige Substanzen werden frei; ganz so tritt dann auch hier bisweilen rasch der Tod ein.

In jüngster Zeit ist übrigens im wissenschaftlichen Laboratorium der Senatorschen Klinik durch A. Wolff bei wiederholter Injektion von anderen Organverreibungen und von Eiweißarten ebendasselbe beobachtet[1]), somit meine vorher gemachten Befunde bestätigt worden.

Diese nach wiederholten Injektionen von gewissen Eiweißsubstanzen entstehende Überempfindlichkeit der Injektionstiere hat somit ganz andere Ursachen wie die Uberempfindlichkeit mancher Injektionspferde bei der Diphtherieantitoxinerzeugung. Trotzdem der Gehalt des Blutserums dieser Tiere an Diphtherieantitoxin schon sehr hoch ist, gehen sie doch bisweilen an einer gegenüber dem Antitoxingehalt des Blutes sehr geringen Dosis

[1]) Vgl. Zentralbl. f. Bakteriologie 1905.

des Toxins kurz nach dessen Einverleibung ganz unerwartet zugrunde. Nach der Behring-Ehrlichschen Auffassung beruht diese Überempfindlichkeit gewisser Pferde bei wiederholter Injektion von Diphtherietoxin auf dem Gebundensein einer relativ großen Menge von Diphtherieantitoxin an gewisse Zellen. Das injizierte Diphtherietoxin findet also das Antitoxin, zu welchem es seine spezifische Affinität hat, in konzentrierter Form noch an den lebenswichtigen Zellen, an die es deshalb direkt gelangt, und die es so schädigt, ohne im Blut vorher abgesättigt zu werden.

Ich möchte Ihre Aufmerksamkeit nochmals auf die andere Überempfindlichkeit der Injektionstiere lenken, die also eintritt, wenn, wie beim Pfeifferschen Versuch, Endotoxine sich bilden, wenn also nach wiederholter Injektion von Pollen oder Plazentarbestandteilen infolge gesteigerter Cytolyse Gifte im Körper frei werden. Dieser Umstand ist, wie beiläufig erwähnt werden mag, der Grund, warum es noch nicht hat glücken wollen, Heilsera auch gegen Cholera und Typhus herzustellen.

Auch bei experimentellen Versuchen mit Heufieberpatienten müssen die cytolytischen Vorgänge beachtet werden.

So verläuft z. B. der von mir bereits angedeutete Experimentalversuch: Einbringen von Serum in das eine Auge, dann Einträufeln von Pollenaufschwemmung in beide Augen eines Heufieberkranken, unter Umständen, wenn namentlich das Serum mittels wiederholter Polleninjektionen gewonnen und ganz frisch ist, paradox: das Auge ohne vorherige Serumeinträufelung rötet sich etwas, das mit Serum und Pollen behandelte, das ja geschützt sein sollte, rötet sich jedoch noch mehr. Wie kommt das?

Nach dem schon Auseinandergesetzten fällt die Erklärung nicht schwer: In dem mit frischem Serum mit reichlichem Cytolysingehalt und Pollen behandelten Auge wird (ähnlich wie beim Pfeifferschen Versuch die Bazillenleiber) ein Teil der Polleneiweiße baldigst gelöst unter Abscheiden relativ reichlichen Heufieberendotoxins. Zu dessen Absättigung reicht aber der geringe Antitoxingehalt des Serums bei weitem nicht hin. Deshalb tritt eine unter Umständen recht lebhafte Endotoxinwirkung — Rötung des Auges und Brennen auf. Ganz anders verläuft jedoch dieser Experimentalversuch, wenn dasselbe Serum zunächst inaktiviert, d. h. durch längeres Erwärmen auf 50—60° von gewissen thermolabilen Bestandteilen seiner Cytolysine, der

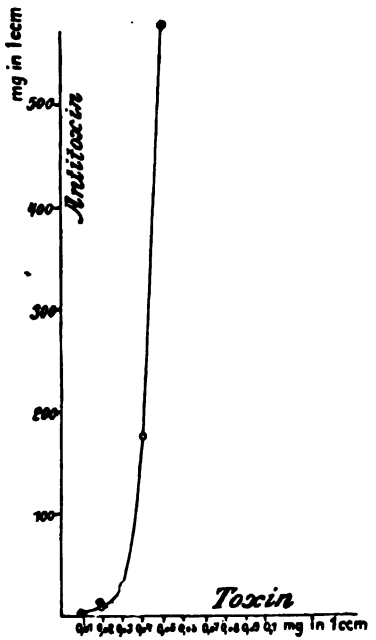
Komplemente, befreit wird. Dann wirkt dasselbe Serum günstig: von dem nun in das mit Serum versehene Auge des Heufieberkranken gebrachten Pollen wird letzteres nicht gerötet; denn es löst sich von den Pollen höchstens ein solches Minimum, daß die geringe Endoantitoxinmenge des Serums zur Giftabsättigung vollkommen hinreicht.

Ob es gelingen wird, die immerhin noch mangelhafte Wirkung derartiger Heilsera, bei denen die Cytolyse und das Auftreten von Endotoxinen so störend ist, so zu verbessern, daß ihre Heilwirkung sich dem Antitoxingehalt entsprechend steigert, wie beim Heilserum der Diphtherie, diese Frage ist meines Erachtens nicht ohne weiteres zu verneinen, wie es zurzeit zumeist geschieht. Ja ich selbst glaube nach dieser Richtung hin in allerjüngster Zeit wiederum einen Schritt vorwärts gekommen zu sein: Es ist mir nämlich gelungen, aus verschiedenen Eiweißarten mit Hilfe von Reduktionsmitteln toxische Substanzen herzustellen, die den bei unzureichender Sauerstoffzufuhr im lebenden Organismus, z. B. bei Muskelermüdung, auftretenden Toxinen außerordentlich ähnlich sind.

Zu den Eiweißarten, aus denen echte, durch Antikörperbildung sich auszeichnende Toxine mittels einfacher Reduktion erhalten werden können, gehören auch die Eiweiße der Plazenta und die der Pollen. Aus diesen Tatsachen des Entstehens von recht ähnlichen toxischen Substanzen sowohl bei Sauerstoffmangel im Organismus hochermüdeter Tiere als auch aus verschiedenen Eiweißarten außerhalb des Organismus, die vorsichtig mit gewissen Reduktionsmitteln behandelt worden sind, dürfte die Schlußfolgerung schon jetzt zulässig sein, daß toxische Erscheinungen im Organismus, wie die bei der Eklampsie und beim Heufiebersymptomenkomplex auftretenden, der Ausdruck sind einer unvollkommenen Oxydation von durch Cytolyse vorbereiteten in größerer Menge in den Organismus gelangten geformten Eiweißsubstanzen. Von dieser allerdings vor der Hand noch mehr theoretischen Abschweifung kehre ich zurück zu dem wirklich Tatsächlichen.

Es steht also fest, daß die zurzeit im Handel vorkommenden Heufiebersera einen relativ recht geringen Endoantitoxingehalt aufweisen, selbst das nur unter großen Tierverlusten mittels vieler Polleninjektionen gewonnene. Ich zeige Ihnen hier eine

Absättigungskurve von Heufiebertoxin mit einem derartigen Serum (nach Praussnitz). Sie sehen, daß bei einigermaßen größeren Toxinmengen die Serumquantitäten in ganz ungemessener Weise haben gesteigert werden müssen, so daß schließlich von einem reinen Versuche keine Rede mehr hat sein können.



Bei einer Absättigungskurve für Toxin-Antitoxin, die wie die für Diphtherie nach dem Gesetz der multiplen Proportionen verläuft, würde die verbindende Linie der Absättigungswerte eine Gerade sein müssen.

Freilich sind die Pollenmengen, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen auf die Schleimhäute Heufieberkranker gelangen, nur ganz minimale, so daß schwache Sera, in rationeller Weise, besonders prophylaktisch, verwendet, immerhin hinreichenden Schutz gewähren können. Nur muß man sich aus dem bereits auseinandergesetzten Grunde hüten, Sera zu verwenden, die viel cytolytische Substanzen enthalten.

Auch Trockensera, namentlich solche, die mittels Injektionen der Pollen gewonnen worden sind, enthalten reichlich cytolytische Ambozeptoren, sind daher einzelnen Heufieberkranken

mit passenden Komplementen gar nicht bekömmlich, ja vermehren deren Leiden oft nur.

Ja es scheint sogar, wie die Sammelforschung des vorigen Jahres bereits ergeben hat, der Körper einzelner Heufieberkranker bei andauernder Behandlung mit ambezeptorenreichen Seren in höchst unzweckmäßiger Weise die Fähigkeit zu haben, diese Ambezeptoren später zu komplettieren, also geeignete Komplemente für die Ambozeptoren zu liefern. Diese Personen fühlen sich zunächst sehr wohl, bei Anwendung selbst ambozeptorenreicher Heufiebersera, nach monatelanger Behandlung jedoch sind sie weniger entzückt, ja einzelne geben eine direkte Verschlimmerung ihres Leidens nach Gebrauch des Serums an.

Aus diesem Grunde habe ich darauf aufmerksam machen zu müssen geglaubt, daß zur Zeit der Gräserblüte das Blut der Pflanzenfresser schon ohne jede Behandlung der letzteren genügend reichlich Heufieberschutzstoffe enthält, die leicht durch Konzentration und fraktionierte Fällung daraus gewonnen werden können. Man umgeht bei Herstellung dieser Schutzstoffe aus genuinem Serum die Gefahr, die so störenden cytolytischen Ambozeptoren durch Polleninjektionen zu vermehren.

An Herrn Kollegen B., der sich in liebenswürdiger Weise zum Demonstrationsobjekt erboten hat, kann ich die Schutzwirkung eines derartigen Serums, des Graminols, zeigen. (Demonstrationsversuch.)

Nachtrag:

Inzwischen hat der Vorsitzende der Sozietät, Herr Prof. Busch, der selbst heufieberkrank ist, nachträglich eine vorzügliche praktische Illustration zu den in dem Vortrage niedergelegten theoretischen Anschauungen insofern geliefert, als er jetzt das ambozeptorenreiche, durch Polleninjektion gewonnene Pollantin komplettiert.

Noch zurzeit des Vortrages schaffte ihm das Pollantin Linderung. Nach längerer Behandlung mit demselben lieferte jedoch sein Organismus passende Komplemente, und es trat bei Anwendung des Mittels jetzt jedesmal eine direkte Verschlimmerung des Leidens auf infolge der nun in großer Menge aus den gleichzeitig in das Auge gelangenden Pollen freiwerdenden Endotoxine.

Das Cribrum der Säugetiere[1].

Von A. Fleischmann.

Aus dem zoologischen Institut der Universität Erlangen.

Vorgelegt in der Sitzung vom 18. Februar 1905.

Im Sommersemester 1903 habe ich Herrn W. Blendinger aufgefordert, die Siebbeingegend der Nasenhöhle bei Säugetierembryonen zu analysieren, um ein sicheres Urteil über den morphologischen Wert der Ethmoidalmuscheln zu gewinnen. Das Ergebnis seiner mühevollen Untersuchung läßt sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Der Stilcharakter des Cribrums liegt in der Bildung lateraler, mehr oder weniger vertikal stehender Ausstülpungen, der Cribralsäcke, während die Muschelzone des Nasenschlauches sagittal gestreckte Seitenräume, die Aulax und das Saktergesimse, produziert.

2. Am embryonalen Cribrum sprossen drei Hauptseitensäcke, Pro-, Meso- und Metacribrum, deren Eingänge senkrecht zur Längsachse des Nasenschlauches stehen. Dazu treten in älteren Wachstumsstadien noch zwei intermediäre Säcke, das Epi- und Paracribrum.

3. Das Wachstum aller fünf Seitensäcke erfolgt in lateraler und dorso-ventraler Richtung.

4. Der hintere Rand jedes Einganges in einen Cribralsack wird durch einen Wulst, den Riechwulst, flankiert. Wir bezeichnen sie als Endoturbinalwülste und unterscheiden sie entsprechend den Säcken als Pro-, Epi-, Meso-, Para- und Metaturbinale.

---

[1]) Die ausführliche Abhandlung ist im Morpholog. Jahrbuche Bd. 32 erschienen.

5. Das Nasoturbinale sive Rhachis gehört zur Muschelzone. Es darf nicht als erster Riechwulst gelten, wie alle früheren Autoren glaubten.

6. Die Form der Cribralsäcke wird später noch mehr kompliziert (freilich in verschiedenem Grade bei verschiedenen Arten), indem homologe Seitentaschen entstehen, z. B. am Procribrum meist drei Seitentaschen, Bursa dorsalis, externa und ventralis, welche wieder sekundäre Nischen bilden.

7. Zwischen allen Seitenräumen des Cribrums liegen knorpelige und verknöchernde Scheidewände: die Endoturbinallamellen zwischen den Hauptcribralsäcken, die Ektoturbinallamellen zwischen den Taschen und Nischen der Hauptsäcke.

8. Der Sinus maxillaris ist ein Produkt des Procribrums. Die übrigen pneumatischen Höhlen wachsen zum Teil aus dem Procribrum, zum Teil aus den anderen Cribralsäcken heraus.

Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. III[1].

Von Eilhard Wiedemann.

1. Einleitung (Bio- und Bibliographische Werke) S. 219.

2. Besprechung eines Stückes aus der Beschreibung Ägyptens von *el Kindi* und der darin erwähnten Gelehrten S. 221. (Den Angaben *el Kindî's* sind sachliche und literarische Bemerkungen beigefügt, z. B. Über farbige Karten S. 225. Über die Armillarsphäre S. 227. Über die Werke Heron's S. 227. Über Vermessen S. 228. Über Wasserräder S. 230. Über *el Ġazari* S. 231; vgl. auch S. 260. Über *Riḍwân* (einen Erbauer von Uhren) S. 231. Über die Bedeutung von *el Ḥijal* und die Mechanik der *Benû Mûsà* S. 233.

3. Über den Brief „Das goldene Haus" von Aristoteles S. 236.

4. Bemerkungen zur Astronomie und Kosmographie der Araber S. 239. a) Über den Himmelsglobus als Ei. b) Über die Zahl der Fixsterne. c) Ansichten der Araber über die Lage und Gestalt der Erde. d) Über die Ansichten der Araber über die Bewegung der Erde.

5. Einige Biographien von griechischen Gelehrten nach *Qifti*: Appollonius, Archimedes, Eutocius, Fîṭun, Heron, Hipparch (mit Euktemon und Meton), Menelaos, Theodosius, Theon S. 245.

6. Über Uhren S. 255. Weitere Bemerkungen über *el Ġazari* S. 260.

Im folgenden sollen die Ergebnisse einer Reihe weiterer Studien zur Geschichte der Naturwissenschaften bei den Arabern mitgeteilt werden. Auch bei ihnen habe ich mich der tatkräftigsten Unterstützung meines verehrten Kollegen, Lehrers und

[1]) Ein erster Beitrag findet sich in den Sitzungsberichten der physikal.-med. Sozietät in Erlangen (Bd. 34, S. 45. 1902), ein zweiter ebenda (Bd. 36, S. 309. 1904). Ich werde dieselben als Beitrag I u. II zitieren. Über *Ibn el Haiṭam's* und anderer Araber Leistungen habe ich eine größere Reihe von Aufsätzen in den Annalen der Physik und Chemie publiziert. (Pogg. Ann. 159, S. 658. 1877, Wied. Ann. 1, S. 480. 4, S. 320. 7, S. 679. 14, S. 368. 17, S. 350, 1043. 20, S. 337, 539. 21, S. 511. 39, S. 110, 319, 470, 565.)

Freundes Herrn Prof. Dr. Jacob in Erlangen in reichstem Maße zu erfreuen gehabt, der vor allem so gütig war, die Übersetzungen zu kontrollieren.

Ich möchte diese Gelegenheit nicht vorübergehen lassen, ohne auch Herrn Prof. Dr. L. Fleischer und Prof. Dr. O. Loth, die mich früher unterstützten, und Herrn Prof. Dr. de Goeje, der mir stets noch jetzt auf das liebenswürdigste mit Rat zur Seite steht, herzlichst zu danken. Bei der vorliegenden Arbeit habe ich mich mancher freundlicher Winke von Herrn Oberlehrer Dr. W. Schmidt in Helmstedt zu erfreuen gehabt.

Den Bibliotheksverwaltungen von Gotha und Leyden, die mir auf das bereitwilligste Handschriften nach Erlangen sandten, sei ebenfalls bestens gedankt.

1. Einleitung.

In Beitrag II S. 311 habe ich eine Zusammenstellung von häufig zu zitierenden Arbeiten und Werken gegeben, der ich hier noch einiges beifüge.

Über die einzelnen vorkommenden arabischen Gelehrten und ihre Werke sowie über die Übersetzungen aus dem Griechischen und Lateinischen ins Arabische geben vielfach Aufschluss H. Suter[1]) und M. Steinschneider[2]).

---

[1]) H. Suter tut dies an den in Beitrag II angeführten vorzüglichen und verdienstvollen Zusammenstellungen und in seinen Nachträgen und Berichtigungen (14. Heft der Abhandlungen zur Geschichte u. s. w. Leipzig 1902). Das Mathematikerverzeichnis des Fihrist Z. S. f. Math. Bd. 37 Suppl. 1892 wird kurz als Verzeichnis zitiert. Suter gibt auch eine Übersicht über die verschiedenen arabischen Quellen.

[2]) M. Steinschneider, die arabischen Übersetzungen aus dem Griechischen I. Abschnitt Philosophie (§ 1 bis § 84) Zentralblatt für Bibliothekswesen Beiheft 5, 1889 u. Beiheft 12, 1893. II. Abschnitt. Mathematik (§ 85 bis § 140, Z. S. D. M. G. Bd. 50, S. 161 u. 337, 1896. Der § 140 enthält eine alphabetische Zusammenstellung von Alchemisten u. s. f. III. Abschnitt Mediziner (§ 1 bis § 34.) Virchows Archiv Bd. 124, S. 115, 268 u. 455, 1896. (Die Paragraphierung der Mediziner ist gesondert, diejenige der Philosophen und Mathematiker von 1 bis 140 durchgeführt, die einzelnen Paragraphen sind dann noch in Abschnitte geteilt). In der Z. D. M. G. Bd. 50, S. 371 ist ein vorzüglicher Index über das ganze Material gegeben. Bei unseren Verweisen werden wir zitieren z. B. Steinschneider Mathem. § 102, 1, wo es sich um das Werk von Apollonius über die Kegelschnitte handelt. — Steinschneider hat im wesentlichen dieselben

Zu den früher erwähnten bio-bibliographischen Werken ist z. B. noch hinzuzufügen.

Ibn el Qiftî: Tarîch el Ḥukamâ[1]) d. h. Geschichten der Weisen (Gelehrten), das zahlreiche Biographien mit bibliographischen Angaben enthält und eine sehr wichtige Quelle darstellt[2]).

Der von *Ibn Abî Uṣaibi'a* benutzte *el Qiftî*, der selbst wieder vielfach den Fihrist zugrunde legt, hat von 1172—1227 gelebt. Von den beiden anderen Bibliographen schrieb *el Nadîm* den größten Teil seines Werkes ca. 987, und *Ibn Abî Uṣaibi'a* starb 1269/70.

Mehrfach werden auch in dieser und in späteren Arbeiten zwei Enzyklopädische Werke zu benutzen sein; das eine ist das bekannte große bibliographische Lexikon von *Hâjî Chalfa*, der 1657/58 gestorben ist; es ist von G. Flügel herausgegeben und ins Lateinische übersetzt worden. Wir werden es als H. Chalfa (H. Ch.) zitieren. Neben einer großen Zahl von Büchertiteln gibt es eine Reihe von Darstellungen über einzelne Wissenschaften, freilich nur in kurzer Form ähnlich unseren Konversationslexicis.

Viele der in H. Chalfa enthaltenen Artikel stammen aus einem anderen enzyklopädischen Werk, das eine Übersicht über

---

Quellen wie H. Suter benutzt. Steinschneider hat auch sonst noch eine große Anzahl höchst wertvoller bio- und bibliographischer Werke und Abhandlungen verfaßt, so z. B. „Die hebräischen Übersetzungen des Mittelalters etc., Berlin 1893."

[1]) Das Werk ist von J. Lippert nach August Müllers Vorarbeiten Berlin 1903 herausgegeben; in seiner Einleitung finden sich auch Angaben über die Schicksale des Verfassers, des Werkes u. a. (vgl. auch Brockelmann Bd. 1, S. 325). Einige Bemerkungen zu der Herausgabe und Berichtigungen sind gegeben von J. de Goeje in der deutschen Literaturzeitung und von H. Suter in der Bibliotheca mathematica Bd. 3, S. 293. 1903; einige von ihnen sind im folgenden verwertet.

[2]) Von den zahlreichen Artikeln von *Qiftî* ist bisher nur ein kleiner Teil in Übersetzung mitgeteilt worden, so in dem Katalog der Handschriften des Eskurial von Casiri, (die dort aufgeführten lateinischen Auszüge aus der „Philosophorum Bibliotheca" sind einem gekürzten Exemplar des *Tarîch el Ḥukamâ* entnommen), ferner bei Sédillot Prolégomènes des Tables astronomiques d'Oloug-Beg. Paris 1847 u. a. O. Im folgenden werde ich über einige Gelehrten Qiftî's Nachrichten in deutscher Übersetzung geben; ein Vergleich mit der Suterschen Übersetzung des Fihrist führt zu manchen interessanten Resultaten, auf die hier aber nicht eingegangen werden soll.

die einzelnen Wissenschaften gibt. Sein Titel heißt „*Irschâd el Qâṣid ilà asnà el Maqâsid* d. h. Richtige Leitung dessen, der zu dem glänzendsten Ziele hinstrebt[1])“ von *Muḥ. Ibn Ibrahîm el Anṣârî*[2]). Er ist in *Sinǵâr* geboren, ließ sich in Kairo nieder und starb 749 d. H., also 1348 n. Chr. dort an der Pest.

Das Werk von *Anṣârî*, das wir kurz als *Anṣârî* zitieren, hat einen besonderen Wert, weil es die Naturwissenschaften und die Mathematik sehr ausführlich behandelt, die bei H. Chalfa zum Teil fehlen, so die Optik, Architektur, Astronomie u. a. — Andere Artikel sind bei H. Chalfa kürzer, noch andere entsprechend der späteren Zeit verändert.

Anṣârîs Werk geht selbst wieder auf ältere Darstellungen zurück; so finden sich in einem Traktate von *Ibn Sinâ* (Avicenna † 1037 n. Chr.) über die Teile der philosophischen Wissenschaften (*fî Aqsâm el ʿUlûm el aqlîja*, Konstantinopel 1268 d. H. = 1881 n. Chr.) manche Definitionen für die Wissenschaften, die denen von *Anṣârî* ähnlich sind. Ganz anders und viel umfassender sind die Besprechungen der einzelnen Gebiete von *el Chowârezmî* (ca. 980 n. Chr.) in seinem *Mafâtîḥ el ʿUlûm* (die Schlüssel der Wissenschaften).

2. Besprechung eines Stückes aus der Beschreibung Ägyptens von el Kindî[3]) und der darin erwähnten Gelehrten.

Von großer Bedeutung für die Geschichte der Wissenschaften ist stets der Übergang der Kenntnisse eines Volkes

[1]) Das Werk ist im 6. Bande der Bibliotheca indica Calcutta 1839 erschienen. Leider finden sich im Text manche Fehler. Eine Aufzählung der besprochenen Wissenschaften und Besprechung einiger Kapitel gibt Haarbrücker in seiner Schrift: *Muḥ. Ibn Ibrâhîm el Anṣârî*, arabische Enzyklopädie der Wissenschaften vornehmlich in pädagogischer Hinsicht. (Jahresbericht über die Luisenstädtische Realschule zu Berlin 1859). Das Werk von *el Anṣarî* ist auch von von Hammer freilich in sehr unzuverlässiger Weise (Enzyklopädische Übersicht über die Wissenschaften des Orients, Leipzig 1804) benutzt worden; außer dem oben angegebenen Titel trägt es nach ihm noch den folgenden: Die aneinandergereihten Perlen (Perlenschnur) über die Eigenschaften der Wissenschaften der Belehrung.

[2]) Brockelmann (Bd. 2, S. 137) gibt als Namen an *Abû ʿAbd Allah Schems el Dîn Muḥ. Ibn Ibrahîm el Sinǵârî el Miṣrî Ibn el Akfânî*, Haarbrücker nach der Bibliotheca indica *Schems el Dîn Muḥ. Ibn Ibrahîm Ibn Sâʿid el Anṣârî el Akfânî el Sachâwî*.

[3]) Die Schrift ist herausgegeben und ins Dänische übersetzt von

zu einem anderen und deren Verarbeitung durch das letztere. Dieser Vorgang muß vor allem dann unser Interesse erregen, wenn die beiden Völker so verschieden in ihren Anlagen sind, wie die Abendländer und die Orientalen.

Im folgenden möge ein Stück aus einem arabischen Geographen in der Übersetzung mitgeteilt werden. Dasselbe findet sich in der Beschreibung Ägyptens von *'Omar Ibn Muḥammad el Kindî*[1]) und enthält u. a. eine Zusammenstellung griechischer Gelehrten, die nach der Meinung des Verfassers in Ägypten geboren sind oder dort gelebt haben. Es finden sich unter ihnen eine ganze Reihe von Männern, die sich mit Naturwissenschaften und Mathematik befaßt haben. Die Angaben haben deshalb ein besonders Interesse, weil *el Kindî* vor *el Nadîm*, dessen *Fihrist* eine unserer ältesten Quellen ist, gelebt hat.

In Zusätzen habe ich über die einzelnen Männer, die von *el Kindî* erwähnt sind, und über deren Leistungen sachliche und literarische Ausführungen gegeben. Für etwaige Lücken möchte ich um Nachsicht bitten, da mir für meine historischen Forschungen nur relativ kurze Zeit zur Verfügung steht.

Kürzere Bemerkungen zum Text sind in Anmerkungen gegeben, längere sind am Schluß der Übersetzung mitgeteilt. Anmerkungen mit a) b) c) u. s. w. beziehen sich auf den Text und die Übersetzung, solche mit 1) 2) 3) u. s. w. auf den Inhalt.

Aus den Bemerkungen geht hervor, daß die Mehrzahl der von *el Kindî* genannten Gelehrten in Ägypten gelebt hat. Dabei ist es eigen, daß er manche nicht nennt, so nicht den von den Arabern so hoch geschätzten Euklid und ebenso nicht Menelaus.

Wir wenden uns nun zu den Ausführungen *el Kindîs*. Er sagt: Zu den Männern, die mit Ägyptens Geschichte verknüpft sind, gehören:

J. Oestrup. Verh. d. Akad. der Wissenschaften Kopenhagen 1896, Nr. 4, S. 173; die uns interessierenden Stellen stehen arabisch S. 191, dänisch S. 202; dazu hat de Goeje, Z. S. D. M. G. Bd. 50, S. 736. 1896, Bemerkungen gegeben. Einige Berichtigungen in der Übersetzung habe ich anzubringen gesucht.

[1]) Der volle Name ist *Abû 'Omar Muḥammad Ibn Jûsuf Ibn Ja'qûb el Kindî el Tuǵibî* (er lebte ca. 970 n. Chr.) vgl. Brockelmann Bd. 1, S. 149. — Dieser *el Kindî* ist natürlich nicht mit dem Philosophen gleichen Namens zu verwechseln.

1. *Hermes*[1]), der dreimal begnadete (Trismegistos), Prophet, König, Weiser. Er war es, der das Blei (*Raṣâṣ*)[a]) als glänzendes Gold[2]) ausgoß.

2.—3. *Aġâtîmûn* (Agathodaemon)[3]) und *Fîṯâġûrus* (Pythagoras), Schüler von Hermes. Sie gehörten zu den Anhängern

---

[a]) Hier ist *Raṣâṣ*, wie meist, mit Blei zu übersetzen.

[1]) Über Hermes, der als Alchemist bekannt war, ist zu vergleichen: Kopp Beitrag I S. 367, dort sind S. 383 im Anschluss an Albertus Magnus auch Hermes Versuche mit Blei erwähnt; M. Berthelot in den früher erwähnten Publikationen; Steinschneider Mathem. § 108, 109 und 140 bei Hermes; Suter Verzeichnis S. 19.

Bei den Arabern spielt Hermes eine große Rolle, und es wäre eine eingehende Untersuchung über denselben wohl von Interesse. Die Schriften des Hermes sollen nach allgemeiner Annahme der älteren Zeit altägyptische Weisheit enthalten haben.

Es gibt mehrere Hermes, so heißt es bei Dimeschqî bei einem chemischen Vorgang, „so daß das eine Aufgabe des dreimal großen Hermes von den verschiedenen Hermes ist."

Eine Schrift von Hermes Trismegistos „an die menschliche Seele" ist herausgegeben von meinem verehrten Lehrer, dem berühmten Orientalisten H. L. Fleischer. Leipzig 1870.

[2]) Die Beziehung von Blei zu Gold wird auch sonst erwähnt: so heißt es z. B. in *el Chazînî* Balance of wisdom (Journal of the American Oriental Society Vol. 6, S. 63, 1859), „so daß seine Goldnatur ursprünglich Blei war." Die Umwandlung von Blei in Gold wird wohl hier erwähnt, weil sie für viel schwieriger galt als diejenige von Silber in Gold, da die letzteren Metalle sich sehr viel näher stehen. Darüber wird gelegentlich einer Publikation eines Traktates von *el Fârâbî* zu handeln sein (vgl. übrigens H. Chalfa, Bd. 5, S. 273.)

[3]) Agathodaemon und Pythagoras werden beide von den Arabern als Alchemisten aufgeführt (Steinschneider Mathem. § 140); zu Agathodaemon vgl. auch Kopp. Beiträge I, S. 386.

Bei Qiftî (S. 2) ist Agathodaemon (Aġṯâḏîmûn) eine mythische Persönlichkeit, die Set gleich gesetzt wird. Bei Agathodaemon hat bei Kindî vielleicht eine Verwechselung mit dem Geographen gleichen Namens aus Alexandria stattgefunden, der die Karten zu Ptolemaeus Geographie lieferte.

Von Pythagoras (etwa 530 v. Chr.) ist, wenn er überhaupt etwas geschrieben hat, nichts erhalten. Von ihm berichteten schon die Griechen, er habe einen großen Teil seiner Kenntnisse in Ägypten erworben.

„Qiftî S. 258 erzählt von Pythagoras, daß er in Ägypten die Philosophie von Genossen Salomos, als sie dorthin aus Syrien kamen, erhalten habe; die Geometrie hatte er aber vor diesen von den Ägyptern erhalten."

des Sabäismus[1]) und waren erfahren in der Kunst der Alchemie, der Sterne (Astrologie), der Zauberei und in der Lehre von der Magie[a]) den Talismanen, den Hieroglyphen und den Geheimnissen der Natur.

4.—5. *Arsalâus* und *Bîduqlus*[2]) (Archelaus und Empedokles); sie gehörten zu den Wahrsagern, Auguren und Rhetoren.

6. *Bakrâṭ* (Sokrates)[b]); er gehörte zu denen, die sich mit der Lehre (*Kalâm*) über den Schöpfer, mächtig und erhaben ist er, und mit Philosophie beschäftigten.

7. Plato[3]); er verfaßte „die Politik", „die Gesetze" und die Kontroverse „über die Städte der Könige".

8. Aristoteles[4]). Er verfaßte die Logik, die Meteorologie, das Buch über den Sinn und das sinnlich Empfundene, das Buch über Entstehen und Vergehen, und dasjenige über Himmel und

---

[a]) Fähigkeit mit Geistern zu verkehren.

[b]) *Bakrâṭ* wäre transkribiert eigentlich Hippokrates, indes ist wohl statt B ein S zu lesen. Hippokrates wird übrigens oft mit Sokrates verwechselt; bei der arabischen Schreibung der Worte ist dies sehr leicht möglich. Sokrates (469—399 v. Chr.) ist nie in Ägypten gewesen.

[1]) *Die Ṣabier*, die in der Geschichte der Wissenschaften eine Rolle gespielt haben, sind nicht, wie Sitzungsber. 1904. S. 348 irrtümlich angegeben ist, die Johanneschristen oder Mandäer in Babylonien, sondern die syrischen Heiden von *Ḥarrân*, die allerdings zur Täuschung den Namen *Ṣabier* angenommen haben (vgl. Dozy. Leidner Kongreßakten S. 290).

[2]) Von Archelaus ist ein Traumbuch überliefert. (Steinschneider Mathem. § 140). Von Empedokles (Steinschneider Philos. § 28) ist keine entsprechende Schrift erwähnt.

Ein Archelaus lebte ca. etwa 200 v. Chr. Er stammte aus dem ägyptischen Chersonnes und schrieb Epigramme.

Empedokles ist etwa 490 v. Chr. in Agrigent geboren; über einen Aufenthalt in Ägypten ist nichts bekannt. Auch bei Qiftî (S. 15) ist nicht die Rede davon, daß Empedokles in Ägypten war, wohl aber daß er in Syrien (Schâm) bei *Loqmân* dem Weisen seine Weisheit empfing, und daß er sich dann nach den Ländern der Griechen wandte.

[3]) Zu Plato vgl. Steinschneider Philos. § 33 u. 34; die Kontroverse über die Städte der Könige ist nicht bei Steinschneider erwähnt. Suter Verzeichnis S. 7. — Plato (427—348 v. Chr.) kam nach Ägypten.

[4]) Zu Aristoteles ist zu vergleichen Steinschneider Phil. § 38 und folgende. Die meisten aufgeführten Schriften sind bekannt. Suter Verzeichnis S. 8—9.

Aristoteles (384—322 v. Chr.) aus Stagira entfaltete seine Haupttätigkeit in Athen.

Erde, die Physik[a]), einen Brief[1]) „Haus des Goldes“ (bezw. Goldenes Haus)[b]), eine Dissertation über Nahrungsmittel[c]) und ein Werk über Metaphysik.

Der arabische Philosoph *el Kindî* hat über 1000 Bücher über alle möglichen Gegenstände verfaßt, die sämtlich Abschnitte aus den Büchern des Aristoteles behandeln.

9. Ptolemaeus[2]) *el Qulûdî*[d]) (Claudius) war ein Beobachter, ein Geodät (Kartograph) und ein Rechner (kann wohl auch Arithmetiker heißen). Er hat den Almagest verfaßt, in dem er die Zusammensetzung (Anordnung) der Himmelskreise (Falak)[e]), die Bewegungen von Sonne, Mond und Planeten, die Fixsterne und die Bilder des Tierkreises behandelt. Ferner verfaßte er ein geographisches Werk[3]) über die Vermessung der Erde,

---

[a]) Das Werk über Physik ist zweimal aufgeführt, und zwar mit den beiden bei den Arabern vorkommenden Titeln: *el Samâ' el Tabi'i* und *Sam'el Kiân*. — *Qifṭi*, (S. 38) gibt sie als Synonyme an.

[b]) Statt *Bint* ist *Beit* zu lesen.

[c]) Die Dissertation über Nahrungsmittel hat Oestrup, da der Text verderbt ist, in der Übersetzung fortgelassen; die Buchstaben entsprechen aber nahezu *el Ġiḏâ* = Nahrungsmittel, und eine Schrift mit ähnlichem Titel führt Wenrich, de graecorum autorum versionibus S. 147, auf. Möglich wäre auch eine andere Verwechselung. Bei Mas'ûdî Bibl. Geogr. Arab. ed. de Goeje Bd. 8, S. 116 Z. 5 heißt es: die Bedeutung des Namen Aristoteles ist *el Ġadâ*, und de Goeje bemerkt, daß Mas'ûdî dabei an ἄριστον denkt. Ein Teil des Namens von Aristoteles wäre also hier als ein Büchertitel genommen.

[d]) Steinschneider schreibt Quldûsî. Oestrup hat das Wort nicht übersetzt. — Zu beachten ist, daß schon Kindî den Beinamen „Qulûdî“ angibt.

[e]) Das Wort wird sowohl für Himmelsphären wie Himmelskreise benutzt.

[1]) Von dem Brief über das goldene Haus ist eine kurze Inhaltsangabe gegeben von Mas'ûdi in de Goeje Bibl. Geogr. Arab. Bd. 8, S. 201, die Stelle ist weiter unten S. 286 übersetzt und besprochen.

[2]) Zu Ptolemaeus vgl. Steinschneider, Math. § 113 u. folgende. Suter Verzeichnis S. 19, vor allem auch F. Boll Jahrbücher für klss. Philologie 21. Supplbd. S. 49 1894. Ptolemaeus (128—168 n. Chr.) lebte in Alexandria.

[3]) Interessant ist hierzu die Bemerkung von *Mas'ûdî* (*Mas'ûdî* Goldwäschereien Bd. I, S. 185): „In der Geographie von Ptolemaeus sind die Meere mit verschiedenen Farben abgebildet und unterscheiden sich nach Größe und Gestalt; die einen haben die Gestalt eines kurzen Mantels (*Ṭailasân*), andere die eines Harnisches oder eines Darmes, andere sind dreieckig, aber ihre Namen sind in diesem Werk griechisch und daher schwer verständlich“.

Danach ist es wohl wahrscheinlich, daß Mas'ûdî eine Handschrift des

die Klimate (Zonen), die Berge, Meere, ihre Gestalt, die Quellen, ihr Entstehen und Vergehen und die Beschaffenheit der Völker, die das Antlitz der Erde bewohnen. Weiter verfaßte er das Werk der Frucht[a]) über die Weissagungen aus den Sternen

---

obigen Werkes gesehen hat. Auch an anderer Stelle wird die Schwierigkeit, die den Arabern die griechischen Namen in der Geographie des Ptolemaeus machten, erwähnt. In dem Werk von el Anṣârî S. 85 heißt es in dem Abschnitt über Astronomie:

„Und von Ptolemaeus gibt es ein Buch über die Beschaffenheit und Lage (*Aḥwâl*) der Wohnorte und Klimate, ein Buch, das unter dem Namen Geographie bekannt ist; es ist in seinem Wesen vollkommen, nur sind die meisten Benennungen*a*) in ihm bei uns unverständlich, da es Eigennamen (*Asmâ' a'lâm*) sind. Ich übersetzte es wegen seines Zustandes aus der griechischen Sprache."

Noch an einer anderen Stelle erwähnt *Mas'ûdî* gemalte Karten. In dem unten S. 236 erwähnten Werk *Kitâb el Tanbîh wa-l Ischrâf* heißt es S. 33: „Ich sah diese Klimate [des Ptolemaeus] in einem anderen Werk mit verschiedenen Farben abgebildet. Das schönste was ich hiervon gesehen, war in dem Werk Geographie . . . von *Mârînûs* und in dem *mamûnischen* Bild (Beschreibung) der Erde (*el Ṣûra el mamûnijja*), welche für *el Mamûn* hergestellt wurde. Zu seiner Anfertigung versammelte sich eine Anzahl Gelehrter seiner Zeit und bildete in ihr die Welt ab mit ihrer Himmelssphäre und ihren Sternen und mit ihrem Land und Meer, ihren bewohnten und unbewohnten Gegenden, Völkern und Städten und anderem als diesem. Dieses Bild ist schöner als eines der früheren, wie z.B. die Geographie des Ptolemaeus und des *Mârînûs* und andere als diese."

Zu bemerken ist, daß Ptolemaeus bei *Mas'ûdî* meist *Ibṭulmîûs* heißt und auch unter dieser Form im Index steht. Marinus von Tyrus war ein Vorläufer von Ptolemaeus, der ihn auch rühmend erwähnt.

Eine arabische freie Bearbeitung der Geographie des Ptolemaeus mit dem Titel *Kitâb Ṣûrat el Arḍ* etc. (Werk über das Bild der Erde) von *Muḥammad Ibn Mûsà el Chuwârezmî* mit einigen gemalten Karten befindet sich in der Straßburger Bibliothek. Sie ist von Spitta (Verh. d. 5. internat. Orientalisten-Kongresses 1881, 2. Teil, 1. Hälfte, S. 19) besprochen; nach ihm ist das el mamûnische Bild in ihr enthalten. Sehr eingehend hat über das Werk C. H. Nallino (Memorie R. Accad. dei Lincei Classe di Scienze morali (5 ser.) Bd. 2, Teil 1, 15. April 1894) gehandelt.

Karten aus arabischen Handschriften haben z. B. publiziert Seippel, Rerum normanicarum fontes arabici I. Christiania 1886; G. Le Bon, La civilisation arabe. p. 503. Paris 1884; B. Dorn, Caspia. Petersburg 1875 u. a.

a) Oestrup übersetzt „Astrologie"; es gibt in der Tat ein dem Ptolemaeus zugeschriebenes Werk *Καρπός*, Centiloquium, das astrologischen Inhalt hat.

---

a) Lies *musammât* statt *musammijât*.

(*Aḥkâm el Nuǵûm*) und das Buch Ebenmachen der Kugel[a]) (Planisphärium).

10. Aratus[1]) verfertigte einen Globus (Baiḍa, wörtlich Ei)[2]) mit 48 Bildern, welche das Bild des Himmelsgewölbes[b]) darstellten und mit 1020 Fixsternen; ferner schrieb er die astronomischen Tafeln.

11. Hipparch[3]) war ein Beobachter und konstruierte das unter dem Namen Armillarsphäre[4]) bekannte Instrument.

---

[a]) Projektion einer Kugel auf eine Ebene, wobei zu beachten ist, daß Ptolemaeus nicht nur die stereographische kannte.

[b]) Nicht die Bilder des Tierkreises, sondern des ganzen Himmels. 48 Bilder finden sich auch auf dem Globus, den Dorn (Mém. de l'Acad. de St. Petersbourg (7) Bd. 3 nr. 1) beschrieben hat. 49 Bilder auf einem Globus in Paris (L. A. Sédillot Mém. prés. par divers Savants (1) Bd. 1 S. 1 1844). Im Mafâtîḥ el 'Ulûm (S. 210) heißt es, daß die Fixsterne in 45 Bildern bestehen, 12 des Tierkreises, 19 nördlich vom Tierkreis und 14 südlich von demselben. In bezug auf die Zahl der Fixsterne etc. vgl. S. 241.

[1]) Aratus (ca. 315—240 v. Chr.) ist von Suter nicht erwähnt, sein Name findet sich auch nicht im Fihrist und bei Qiftî. Als Lehrer von Ptolemaeus Philadelphus kommt bei Qiftî S. 99 ein Astronom Arsatûs vor.

Aratus war im kilikischen Soloi geboren und lebte vor allem am Hofe von Antigonus Gonatas in Pella, eine Zeitlang auch bei Antiochos I. Über einen Aufenthalt in Ägypten gibt Paulys Realenzyklopädie nichts an.

Eine Abbildung von Aratus, neben dem ein Globus steht, findet sich einmal in einem Kodex in Madrid und ferner auf einem Mosaïk zu Trier (vgl. hierzu das Maaß Comm. in Aratum Reliq. Berlin 1898 S. 172 und 173) sowie G. Thiele, Antike Himmelsbilder, Berlin 1898. An letzterer Stelle sind auch andere Globen behandelt, antike und arabische. Über diese finden sich Angaben bei E. Dorn, drei astronomische Instrumente bei Sédillot am erwähnten Ort. Vgl. auch B. Wittstein Schlömilch Z. S. Bd. 37 Supp. S. 201.

[2]) Vgl. hierzu weiter unten S. 239.

[3]) Vgl. zu Hipparch Steinschneider Math. § 134 und H. Suter. Verzeichnis S. 22 und 54. Während der Fihrist von den astronomischen Leistungen des Hipparch (wenigstens dessen, der diesen Namen haben soll) nichts berichtet, kennt sie unser el Kindî. — Qiftî bespricht ausführlich die astronomische Tätigkeit von Hipparch, hält ihn aber für einen Chaldaeer. Das von Qiftî aufgeführte Werk desselben ist, wie Steinschneider meint, astrologischen Inhaltes, kann daher nicht von dem Griechen Hipparch herrühren. Qiftî gibt an, dass sehr viele Angaben des Ptolemaeus von Hipparch herstammen. Hipparch aus Nikaea (ca. 160—125 v. Chr.) lebte in Rhodus und Alexandria. Der Artikel über Hipparch von Qiftî ist unten S. 251 übersetzt.

[4]) Unter *Âlat Ḏat el Ḥalq* ist, wie sich z. B. aus Sédillot (Mémoire

12. Theon[1]) verfaßte die nach ihm benannten Tafeln.

13—15. *Dârâtîûs* (Dorotheus)[2]), *Fâlîs* (Valens)[3]) und *Iṣṭafan* (Stephanus)[4]) verfaßten astronomische Werke.

16. Heron war Geometer und Geodät[5]), er schrieb über

---

sur les instruments astronomiques des Arabes. Mém. prés. par divers Savants (sér. 1) Bd. 1, S. 1. 1844) ergibt, die Armillarsphäre, die Armilla oder Ringkugel zu verstehen; sie ist (vgl. z. B. Brockhaus Konversationslexikon) eine Zusammensetzung von Ringen, welche die wichtigsten Kreise der Himmelskugel darstellen. Sie hat den Zweck, die gegenseitige Lage der Himmelsaxe, des Äquators, der Ekliptik und anderer Kreise zu veranschaulichen. Daher kann sie in mancher Hinsicht die künstliche Himmelskugel ersetzen, obschon letztere auch die Gestirne darstellt und insofern eine viel allgemeinere Benützung zuläßt. Die älteren Astronomen, zuerst Eratosthenes, später auch Hipparch und Ptolemaeus, bedienten sich der Ringkugel auch zu wirklichen Beobachtungen.

Als *Ḥalqa* bezeichnet man den Ring, an dem astronomische Instrumente aufgehängt oder gehalten werden (E. Dorn, Die astronomischen Instrumente etc. S. 26).

[1]) Vgl. Steinschneider Math. § 128. Suter Verz. S. 21; vgl. auch J. Lippert, Studien auf dem Gebiete der griech.-arab. Überlieferung, Heft 1, Braunschweig 1794. Theon aus Alexandria lebte etwa 380 n. Chr.

[2]) Über Dorotheus handelt Steinschneider Math. § 127 sehr ausführlich; vgl Suter Verz. S. 21.

[3]) Über Valens vgl. Steinschneider Math. § 129 und Suter Verz. 21. Qiftî gibt ihn den Beinamen „der Ägypter", dies stimmt mit der Angabe unseres el Kindî überein.

[4]) Von Stephanus sind keine arabischen Übersetzungen erhalten. Von einem Mann dieses Namens berichtet *Qiftî* S. 68: „*Iṣṭafan* (Stephan) der Babylonier war einer der chaldäischen Weisen und war bei der Sendung des Propheten, möge Gott ihm gnädig sein. Er war in der Direktion (*Tasjîr*) der Sterne bewandert und in der Weissagung aus den Sternen. Er schrieb ein Werk über die Weissagung aus den Sternen."

Stephan der Babylonier wird von Stephan dem Harranier, einem Arzte, (Qiftî S. 56) unterschieden. — *Tasjîr* hat eine bestimmte astrologische Bedeutung, es ist die „directio", deren Bedeutung sehr ausführlich de Slane bespricht in seiner Übersetzung der Muqaddima (Prolégomènes) des *Ibn Chaldûn* (Notices et extraits Bd. 20, S. 219. 1864); dort finden sich auch sonst viele Erläuterungen astrologischer Ausdrücke.

Nach Krumbacher hat ein Stephanus ein Weissagebuch, das Prophezeihungen über Muhammed und die Zukunft des Islam enthält, geschrieben, und zwar wahrscheinlich 775 n. Chr. (Krumbacher Byzant. Literatgesch. 2. Auflage S. 621, 1897.)

[5]) Zu Heron vgl. Steinschneider (Math. § 132), Suter Verz. S. 22. Die geodätischen Schriften erwähnt Steinschneider nicht.

Sehr eingehend wird die Überlieferung der Araber über Heron von

Geographie und pneumatische Kunstgriffe, ferner verfertigte er Uhren[a]) und[1]) [andere] Instrumente zum Messen der Stunden.

L. Nix in der Einleitung zu Herons Opera Bd. 2 besprochen. Dieser Band enthält die Publikation der Mechanik von Heron.

Für die Zeit, zu der Heron lebte hat W. Schmidt (Heronis opera omnia Bd. 1, S. IX, ed. W. Schmidt. Leipzig 1892) das erste Jahrhundert nach Chr. angenommen; von anderen Seiten sind andere Angaben gemacht, so stellt K. Tittel (Rheinisches Museum (2) Bd. 56, S. 404. 1901) in seinem Aufsatz „Heron und seine Fachgenossen" die Reihenfolge auf: Ktesibius, Philon, Heron, Geminus. Philon hat nach ihm sicher nicht später als im 2. vorchristlichen Jahrhundert gelebt; und für Heron gelangt er zu dem Resultat, daß er seine Haupttätigkeit im 2. Jahrhundert vor Chr. entfaltete. Nach einer brieflichen Mitteilung von Herrn Dr. W. Schmidt hält er die Beweisführung von K. Tittel nicht für genügend, um zu einer Aufgabe seiner Ansicht veranlaßt zu werden.

Unterschieden werden drei Forscher mit dem Namen Heron.

Ein geometrisches Werk ist uns von Heron erhalten, ebenso ein geodätisches über die Vermessung mit dem Diopter; hierauf bezieht sich wohl auch die Bemerkung, daß Heron Geograph war.

Die Schriften über pneumatische Kunstgriffe (*Ḥijal*) sind die Pneumatik und die Lehre von den Automaten.

Über Vermessen, Nivellieren etc. muß an einer anderen Stelle gehandelt werden.

Eine geodätische Schrift von Heron dürfte die im *Fihrist* (S. 269) erwähnte „Das Werk über das Verfahren (*'Amal*) mit den Astrolab" sein. Aus einer Reihe von Stellen bei arabischen Schriftstellern wissen wir, daß sie mit dem Astrolab Vermessungen, Bestimmungen der Höhe von Türmen etc., sowie der Tiefe von Brunnen ausführten. Zu solchen Zwecken hat z. B. das Astrolab *el Bêrûnî* (973—1048) verwendet, wie sich aus Kapitelüberschriften in Werken von ihm ergibt (vgl. Berliner Katalog Bd. 5, S. 229 und 230, Nr. 38[b] und folgende). — Neben dem *Murǵiqal* (wörtlich Fledermaus), einer an einer Schnur, die an zwei Stangen befestigt ist, aufgehängten umgekehrten Setzwage (vgl. Dozy, Suppl. Bd. 1, S. 579) benutzt das Astrolab zum Nivellieren *Ibn el Auwâm* ca. 1200—1250 (Werk über Agrikultur *Kitâb el Falâḥa*, übersetzt von Cl. Mullet, Bd. 1, S. 181. Paris 1864). Eine Reihe von Methoden bespricht *Behâ el Din* (1547—1622) in seiner Essenz der Rechenkunst (ed. Nesselmann S. 34. Berlin 1843).

[a]) An dieser Stelle ist im arabischen Text mit de Goeje zu lesen *Binkâmât*, das er mit Wasseruhren übersetzt.

[1]) Heron wird als ein Verfertiger von Uhren *Binkâmât*, das, wie erwähnt, de Goeje mit Wasseruhren übersetzt, bezeichnet. Meist wird das Wort wohl auch diese Bedeutung haben. Später wird es jedenfalls im allgemeinen Sinn benützt. So hat H. Chalfa eine Wissenschaft von

17. Philon (*Filûn*)[1]) war bewandert in (der Konstruktion) von Wasserrädern[2]) (*Dawâlîb*) und Mühlen und in den Be-

den *Binkâmât*, Bd. 2, S. 69 auch Bd. 1, S. 398, d. h. von Vorrichtungen, durch welche man unabhängig von dem Laufe der Gestirne die Zeit in bestimmte Abschnitte teilen kann. Die Uhren werden eingeteilt in Sanduhren, die keinen großen Nutzen bringen, Wasseruhren, von denen es verschiedene Arten gibt, von denen man gleichfalls keinen großen Nutzen hat, und Räderuhren" (H. Ch. starb 1638.) Vgl. zu Uhren w. u. S. 255.

Heron erwähnt selbst in den Pneumatika (Opera Bd. 1, S. 3/4), daß er ein Werk über Wasseruhren in 4 Büchern geschrieben (*περὶ τῶν ὑδρίων ὡροσκοπείων*). Ein Fragment desselben ist uns erhalten und von Schmidt (Heronis opera, Bd. 1, S. 506) publiziert. Derselbe Band enthält S. 490 die Beschreibung der Wasseruhr des Ktesibius.

Von *el Kindî* sind nicht erwähnt die Schriften von Heron aus den Kriegswissenschaften. Doch kommen diese bei anderen arabischen Schriftstellern vor, so vielleicht bei H. Ch., Bd. 5, S. 48, als *Kitâb Alât el Ḥarb* (Werk über die Kriegsmaschinen) von Hârûn (vgl. hierzu Steinschneider a. a. O.).

[1]) Vgl. Steinschneider Math. § 139 und weiter unten. Über die Lebenszeit von Philon vgl. bei Heron. W. Schmidt setzt ihn in die zweite Hälfte des dritten Jahrhunderts vor Chr.

Statt *Filûn* findet sich auch *Fîkun*, so bei *Anṣârî* (S. 84); es rührt dies von einer flüchtigen Schreibung und nachherigen falschen Lesung her. *Ḥaǧî Chalfa* (Bd. 1, S. 401) hat *Filun*.

Nach der Übersetzung von Clement Mullet kommt in dem Werk von *Ibn el Auwâm* (Bd. 1, S. 130. Paris 1864) ein Name Philemon vor, den Steinschneider als Philo von Byzanz auffaßt (Z. S. f. Bibliothekswesen Beitr. 14, S. 108). Es heißt dort bei der Besprechung des Nivellierens: „Das geringste Gefälle, das man erteilen kann, ist 12 Finger auf 100 Ellen (d. h. etwa 5 : 10000), dies hat Philemon in seinem Werk über die Direktion des Gewässers angegeben."

[2]) Das Wort *Daulâb* bezeichnet zunächst ein Wasserrad. Das Wort setzt sich aus dem arabischen Stamm *dawala* sich drehen und dem persischen *Âb* Wasser, dem lateinischen aqua, zusammen. Daulâb hat übrigens zahlreiche andere Bedeutungen. So ist es auch eine hydraulische Maschine (es gibt eine Inspektion der *Dawâlîb*). Ferner bedeutet es eine kreisförmige Zuckermaschine; vgl. bei Makrîzî (Maml. Bd. 2, S. 3).

Wasserräder finden sich bei den arabischen Schriftstellern überhaupt sehr vielfach erwähnt. Als Synonyme werden von Muqadassî S. 31, Z. 11 angegeben *Zurnûq*, *Daulâb*, *Ḥannâna* (stark seufzende Maschinen).

Von *Daulâb* wird auch ein Adjektiv *daulâbî* = wie ein Wasserrad gebildet. Es heißt von der Bewegung der Himmelssphären bei *Qazwînî* (arab. Text, Bd. 1, S. 16, Übersetzung von Ethé, S. 32, wo das Wort mit „in perpendikulärer Richtung" wiedergegeben ist) ... es gibt unter

den Sphären solche, die sich im Verhältnis zu uns wie ein Wasserrad bewegen (d. h. ihre Axe ist horizontal).

Die Beschreibung eines Schöpfrades gibt *Ibn el Auwâm* (Bd. 1, S. 129). Eine ganze Reihe der noch jetzt in Gebrauch befindlichen bespricht Lane (Die heutigen Ägypter, Bd. 2, S. 138. Leipzig 1852). Auch in zahlreichen Reisebeschreibungen finden sich Beschreibungen.

Zahlreiche Abbildungen von Wasserrädern finden sich in den von C. de Vaux herausgegebenen Pneumatika des Philo und in dem Werk von *el Gazarî*.

Abû el 'Izz Ismâ'îl Ibn el Razzâz (der Reishändler; freilich haben beide Leydener Handschriften *Razzâr*) *el Ǵazarî* (der Mesopotamier), mit dem Beinamen *Badî' el Zamân* (der Unvergleichliche der Zeit, wir werden ihn kurz *el Ǵazarî* nennen) *el Kitâb fî Ma'rifat el Ḥijal el handasîja* (Werk über die Kenntnis der geometrischen (mechanischen) sinnreichen Anordnungen), das, wie die Handschrift 1205 in Leyden angibt, im Jahre 602 d. H., also 1205/06 n. Chr. geschrieben wurde und von H. Ch., Bd. 5, S. 48 eingehend erwähnt wird. Von dem Werke sind Handschriften in Leyden Katalog Bd. 3, Nr. 1025 und 1026, ferner in Konstantinopel, in Oxford (Uri I, Nr. 886), (zu diesen vgl. Carra de Vaux, Bibl. math., 3. Folge, Bd. 1, S. 29. 1900). (Zu *el Ǵazarî* vgl. auch S. 260.)

Über die Konstruktion von Wasserrädern gibt es einen besonderen Traktat von *Riḍwân Ibn Muḥammad Ibn 'Alî el Churâsânî* mit dem Titel „Kapitel über die Wasserräder und das Heraufholen des Wassers und die dazu dienenden Kunstgriffe (Maschinen) (*Bâb el Dawâlîb wa Istibâṭ el Mijâh wal Ḥijal fî ḍalika*)". In ihm wird eine ganze Reihe von verschiedenen Anordnungen besprochen, denen Abbildungen beigefügt sind; ihre Publikation wird uns einen Einblick in die Technik der Araber verschaffen.

Der Traktat findet sich zusammen mit einer langen Abhandlung desselben Verfassers über die berühmte Uhr an der Moschee zu Damaskus u. s. w. und einer kurzen über die Konstruktion eines Brennspiegels in Gotha (cod. 1348, Katalog von Pertsch Bd. 3, S. 18).

Gleichsam als Einleitung zu den beiden letzten Traktaten heißt es: Diese nützlichen Dinge habe ich aus dem Buch der Wissenschaft der Geschicklichkeit (*Kitâb fî 'Ilm el Furûsîja*) übertragen, das Alexander, dem Besitzer der beiden Hörner, dem Macedonier zugeschrieben wird. (Das ursprüngliche Werk ist also pseudepigraphisch dem Alexander dem Großen zugeschrieben.)

Über *Riḍwân* ist zu vergleichen *Ibn Abî Uṣaibi'a* Bd. 2, S. 183 unter *Fachr el Dîn*. Suter Mathematiker etc. Nr. 343, S. 146.

Bei *Ibn Abî Uṣaibi'a* heißt es: *Fachr el Dîn Ibn el Sâ'âtî* (des Uhrmachers). Es ist das *Riḍwân Ibn Muḥammad Ibn Alî Ibn Rustam* aus *Churâsân*, der Uhrmacher. Er wurde in Damaskus geboren und wuchs dort auf. Sein Vater war *Muḥammad aus Churâsân*; dieser siedelte nach Syrien über, blieb in Damaskus bis zu seinem seligen Tode. Er war un-

vergleichlich in der Kenntnis der Uhren und der Sternkunde. Er war es, der die Uhren verfertigte, die sich bei dem Tore der großen Moschee (*el Gâmi'*) von Damaskus befinden. Er machte sie in den Tagen von *el Malek el 'Âdil Nûr el Dîn Maḥmûd Ibn Zengî*[1]). Er empfing von ihm zahlreiche Gunsterweisungen, Gehalt und Besoldung für seine Aufgabe, die Uhren zu besorgen. So blieb er bis zu seinem seligen Tode, Gott erbarme sich seiner. Er ließ zwei Söhne zurück. Der eine von ihnen war *Bahâ el Dîn Abû el Ḥasan 'Alî Ibn el Sâ'âtî*, der Dichter. Er war der beste Dichter unter seinen Zeitgenossen, und keiner kam ihm darin gleich. Er starb in Kairo; seine Gedichtssammlung ist berühmt und bekannt. Der andere ist *Fachr el Dîn Riḍwân Ibn el Sâ'âtî*, der Arzt, der in der Heilkunst vorzüglich und in der Literatur ausgezeichnet war. *Fachr el Dîn* studierte die Medizin bei dem Scheich (Professor) *Raḍî el Dîn el Raḥabî* und blieb eine Zeit lang bei ihm; er war intelligent, scharfsinnig, von sicheren Kenntnissen, als er sich ihm zuwandte und gierig nach der Wissenschaft, mit welcher er sich beschäftigte. Er studierte ferner Medizin bei dem Scheich *Fachr el Dîn el Mârdinî*. Als *Fachr el Dîn Ibn el Sâ'âti* nach Damaskus kam, hatte er eine schöne Handschrift, er schrieb im höchsten Grade gleichmäßig (*mansûb*) und schön. Auch dichtete er. Er hatte vorzügliche Kenntnisse in der Logik und der Philosophie. Mit der Literatur beschäftigte er sich in Damaskus unter der Leitung von dem *Scheich Tâǵ el Dîn el Kindî*. Es diente *Fachr el Dîn Ibn el Sâ'âti* als Vezîr dem *el Malik el Faiz Ibn el Malik el 'Âdil Abû Bekr Ibn el Ajjûb* und er diente ferner *el Malik el Mu'azzam 'Îsà Ibn el Malik el'Âdil* als Arzt und als Vezier. Er war sein Tischgenosse und spielte die Laute. Er liebte die Kontroverse (Kalâm) des *Scheich el Raîs Ibn Sinâ* über die Medizin, indem er zu ihr hingezogen wurde. Er starb, Gott sei ihm gnädig, in Damaskus an der Gelbsucht.

Zu seinen Gedichten gehört folgendes [das sich vielleicht auf eine Beschäftigung an der Uhr von Damaskus bezog].

Versmaß *el Sarî'*.

Es beneidet mich mein Volk, wegen meiner Kunst, weil ich zwischen ihnen ein Perser war.

Ich wachte nachts, während sie einschliefen; nicht wird der Studierende und der Schlaftrunkene gleich sein.

Zu den Werken des *Fachr el Dîn Ibn Sâ'âtî* gehört: Vollendung des Buches über die Kolik von *el Raîs Ibn Sinâ* als Randbemerkung zu dem Kanon des *Ibn Sinâ*. — Das vorzüglichste unter den Gedichten und anderes als dieses.

Die Araber haben eine besondere Wissenschaft von dem Heraufholen der Gewässer, (*'Ilm Inbâṭ el Mijâh*), die sie zu den geometrischen Wissenschaften rechnen. Von ihr sagt *Anṣârî* S. 82. „Die Wissenschaft vom Heraufholen der Gewässer ist eine

---

[1]) (Der bekannte Vorgänger von *Salâḥ el Dîn*, er regierte 1146—1174).

wegungen, die durch sinnreiche Anordnungen (*Ḥijal*) bewirkt[1]) werden.

Wissenschaft, aus der man lernt, wie man die in der Erde verborgenen Gewässer herausholt und sichtbar macht. Ihr Nutzen besteht in der Belebung und dem Gedeihen der toten (unfruchtbaren) Ländereien. Von *el Karchî* gibt es darüber ein kurzes Werk und an Stellen des Werkes „die nabataeische Landwirtschaft" sind die Hauptfragen dieser Wissenschaft behandelt." Dem fügt *Haǵi Chalfa* (Bd. 1, S. 444) folgendes zu: „Ihr Nutzen ist augenfällig und von einem Gelehrten wird der Spruch überliefert „Wenn die Diener Gottes wüßten, welches Wohlgefallen Gott bei dem Lebendigmachen seiner Erde empfinden würde, so würde auf dem Antlitz der Erde keine öde Stelle bleiben."

[1]) Man übersetzt *Ḥijal* oft mit Mechanik; es bedeutet aber meist sinnreiche Anordnungen, und auch das Werk *fî-l Ḥijal* (d. sog. Mechanik) der *Benû Mûsà* bespricht, wie mir das Studium der Gothaer Handschrift zeigte, Zauberbecher, Zaubertrichter u. s. f.; darüber wird später noch zu handeln sein. Unsere eigentliche Mechanik wird behandelt als Wissenschaft vom Ziehen der Lasten, von den Schwerpunkten, von den Wagen und Gewichten. Von der sog. Mechanik der *Benû Mûsà* sind Handschriften im Vatikan, in Gotha (no. 1349) und in Berlin (no. 5562). Das oben erwähnte Werk sind die Pneumatika des Philo, die auch von *Haǵi Chalfa* und *el Anṣârî* zitiert werden. Es ist in einer aus dem Arabischen angefertigten lateinischen Übersetzung erhalten und herausgegeben von H. Rose in Anekdota graeca Heft 2, S. 299. Berlin 1870 und von W. Schmidt, Heronis opera omnia Vol. 1, S. 458. Leipzig 1899.

Eine arabische uns erhaltene Übersetzung der Pneumatika hat Carra de Vaux publiziert in Notices et extraits Bd. 38, S. 27. 1903, zusammen mit einer französischen Übersetzung. Diese ist sehr ausführlich zugleich mit allgemeinen Betrachtungen über die Mechanik der Alten besprochen von W. Schmidt in: Neues Jahrbuch für d. klass. Altertum 1904 1. Abt., S. 329 nnd Berliner Philol. Wochenschrift Bd. 23, S. 1345 und S. 1377. 1903.

Die Araber geben als Titel an: Über die pneumatischen sinnreichen Anordnungen und über die *Machâniqâ* des Wassers.

W. Schmidt vermutet, daß *Machâniqa* nicht mit *μηχανική*, sondern mit *Μαγγανικά* übereinstimmt; es sind dies technische Vorrichtungen zum Heben, auch zu Zauberkünsten. Diesem griechischen Wort entspricht auch der Ausdruck in dem *Mefâtîḥ el ʿUlum: Manǵânîq.*

Der echte Titel des Werkes war *Πνευματικά*; der Grieche, der ihm das *Μαγγανικά* beifügte, wollte nach W. Schmidt damit sagen, daß nicht alle Apparate auf dem Luftdruck beruhen. Der Ausdruck *μάγγανον* ist wohl in byzantinischer Zeit eingefügt, wo er ‚pro qualicumque machina' gesetzt wurde.

18. Archimedes[1]) beschäftigte sich mit Kunstgriffen[a]) der Geometrie (der Mechanik) (*Ḥijal el Handasa*), sowie mit Brennspiegeln, ferner mit der Konstruktion von Kriegsmaschinen und mit dem Beschießen der festen Plätze, ferner mit Anordnungen, [die] gegen die Heere und Armeen[b]) bei (Schein) Flucht und Wiederangriff[2]) [angewendet wurden].

19. Mârîh (Maria) und Kleopatra beschäftigten sich mit den Talismanen und Quintessenzen (Elixieren) und mit den Künsten (wohl der Alchemie)[3]).

20. Apollonius[4]); von ihm existiert ein Werk über die

---

[a]) Es ist hier wohl nicht die Mechanik in unserem Sinne gemeint, denn fast ganz denselben Titel führt das Werk von *el Ġazarî*, das sich mit Wasseruhren, hydraulischen Maschinen, Kunststücken mit Wasser etc. beschäftigt; es ist daher wohl möglich, daß auch el Kindî mit der obigen Angabe Archimedes Beschäftigung mit diesen Fragen treffen wollte (vgl. S. 24 ff.).

[b]) Den Schluß von 18 von „Armeen" an und die folgenden Abschnitte hat Oestrup als spätere Zusätze in eine Anmerkung verwiesen, indes meint de Goeje (a. a. O.), daß dafür kein Grund vorliegt.

[1]) Vgl. Steinschneider Math. § 95 und Suter Verz. S. 17—18 und weiter unten.

Zu Archimedes ist ferner Heiberg, Quaestiones Archimedeae. Kopenhagen 1879 zu vergleichen.

Archimedes aus Syrakus (287—212 v. Chr.) ist in Alexandria wahrscheinlich mit Schülern Euklids in Beziehung getreten. Euklid selbst lebte wohl nicht mehr. Später hat er bekanntlich in Syrakus gelebt.

Einen Aufenthalt von Archimedes in Ägypten erwähnt Diodor V. 37, 3, sowie daß er dort die Wasserschraube erfunden. Mit dieser Betätigung von Archimedes dürften auch die unten mitgeteilten Ausführungen von Qiftî zusammenhängen (S. 247).

[2]) Die Angabe, daß Archimedes sich mit Anordnungen bei [Schein]-flucht und Wiederangriff beschäftigt habe, bezieht sich darauf, daß nach Ibn Chaldûn die Araber zwei Kampfarten unterschieden: Die erste nannten sie das Gefecht mittels Ansturmes und Zurückweichens, die andere das Gefecht mittels Linienanmarsches (Ibn Chaldûn, Prolégomènes II, S. 80; Jaensch, Geschichte des Kriegswesens etc. 8. 501. Leipzig 1880).

[3]) E. Wiedemann, Beitrag I und Steinschneider Math. § 140.

[4]) Vgl. Steinschneider Math. § 102 und Suter Verz. S. 18—19. Apollonius von Perga (geb. ca. 265 v. Chr., gest. ca. 190) war in Alexandria und in Pergamon tätig. Das im Werke *Qifṭî's* gegebene Leben von Apollonius ist S. 245 mitgeteilt. Von den Kegelschnitten hat Heiberg lib. I—IV herausgegeben, die nur noch arabisch erhaltenen lib. V—VII wollte der leider zu früh verstorbene Prof. Nix edieren; sie werden jetzt von Heiberg bearbeitet.

Kegel und ein Werk über die Teilung der Linien [nach einem bestimmten Verhältnisse].

21. Theodosius[1]) schrieb das Buch Sphaerica.

22. Pappus (??)[2]) schrieb über das Rechnen (*el Ḥisâb*).

23. Eutokius[3]) schrieb ein Buch über den Zylinder.

---

[1]) Vgl. Steinschneider Math. § 130. Suter Verz. S. 21. Theodosius aus Bithynien lebte etwa 40—100 n. Chr.

[2]) Der Name ist unsicher, die Handschriften geben verschiedene Lesarten, vielleicht ist es Pappus. Die Frage ist vielfach diskutiert worden; vgl. dazu Steinschneider Math. § 131 und Suter Verz. S. 22 u. 54, ein Werk über das Rechnen ist aber nicht bekannt. Pappus lebte etwa 300 n. Chr. in Alexandria.

Bei Qiftî (S. 99) findet sich ein Artikel: B. n. s, der Byzantiner war in den mathematischen Wissenschaften erfahren, erfahren in den Schwierigkeiten der Geometrie, er wohnte in Alexandria und zwar nach Ptolemaeus el Qulûdî. Zu seinen Schriften gehört: Ein Kommentar zu dem Werk des Ptolemaeus Planisphärium, Ṯâbit hat es ins Arabische übersetzt. Kommentar zum 10. Buch des Werkes von Euklid in 2 Büchern.

Auf S. 65, Z. 7 von oben heißt es ferner bei Qiftî: Ich sah einen Kommentar des 10. Buches [des Euklid] von einem der alten Griechen mit Namen B. lîs (andere Handschriften haben T. L. B. S und A. B. L î n s, dies würde auf Apollonius hindeuten).

In einer Arbeit von J. Wöpcke Mémoires présentés par divers savants (ser. 2) Bd. 14, S. 672. 1856 wird eine Reihe von Büchertiteln erwähnt, in denen ein ganz ähnlich geschriebener Name vorkommt (B. los, B. lîs, B. l. s., die Punkte bedeuten kurze nicht geschriebene Vokale). Dieser Gelehrte hat im Anschluß an das 10. Buch des Euklid über kommensurable und inkommensurable Größen geschrieben. Wöpcke hat aus den Buchstaben Valens machen wollen, später hat man sie Pappus gelesen. Ob der von el Kindî erwähnte Gelehrte mit dem obigen identisch ist, mag dahin gestellt bleiben. Die Bezeichnung als Rechner oder Arithmetiker kann darin liegen, daß Pappus eben einen Kommentar über die arithmetischen Teile des 10. Buches schrieb.

Flügel (vgl. Steinschneider Schlömilch Z. S. 10, S. 462. 1865) hatte gemeint, daß die beiden arabischen Ausdrücke *el Arit̲mâṭiqûn* und *el Ḥassâb* sich in der Weise unterscheiden, daß mit ersterem Wort die alten, d. h. vorzugsweise griechischen, mit letzterem die arabischen Arithmetiker gemeint sind; indes dürfte ersteres diejenigen bezeichnen, welche die reine Zahlenlehre im Sinne der alten Griechen behandeln, während die letzteren die Kalkulatoren, die praktischen Rechenkünstler sind. Doch entspricht der Hassâb gewiß oft auch dem Arithmetiker im engeren Sinne des Wortes.

[3]) Vgl. Steinschneider Math. § 95. Suter, Verz. S. 19. Eutokius von Askalon lebte im 6. Jahrhundert n. Chr. zur Zeit Justinians und stand als einer der letzten Nachfolger Platons an der Spitze der Schule von Athen.

24—30[1]). Nach Ägypten kamen Galen und Dioskorides, die über Botanik schrieben, und Diogenes[2]), Archigenes(?)[3]) Gesios(?)[4]) und Porphyrius[5]) und Rufus[6]); sie vertreten die griechische Medizin.

Alle diese wohnten in Ägypten in den alten Zeiten und Tagen.

An die Besprechung der griechischen Gelehrten reiht sich eine solche von arabischen an. Mathematiker und Naturforscher finden aber dabei keine Erwähnung. Daß *Ibn el Haitam* fehlt, erklärt sich ohne weiteres daraus, daß er erst später nach Agypten kam.

3. Über den Brief des goldenen Hauses von Aristoteles.

Über den Brief des Aristoteles „das goldene Haus" findet sich in „*Mas'ûdi's*[7]) *Kitâb el Tanbîh wa-l Ischrâf*", „das Buch des Aufmerksammachens nnd des Umschaugewährens" das Folgende:

„In den höchsten Regionen im östlichen Indien befindet sich das Gebäude mit dem Namen „goldenes Haus" . . . Es ist dies das Haus, welches Alexander, der Sohn des Königs Philippus, betrat, als er Fûr, ihren König, getötet hatte. Über dasselbe schrieb er einen Bericht an Aristoteles und erzählte ihm, was ihm an Wundern entgegengetreten war. Aristoteles antwortete ihm mit einem unter dem Titel „Brief des goldenen Hauses"

---

[1]) 24—30) Hier hat wohl eine Verwechselung stattgefunden, denn Galen ist eigentlich kein Botaniker, wohl aber Dioskorides; zu Galen vgl. Steinschneider, Med. § 17, zu Dioskorides § 30.

[2]) Diogenes kommt sonst nicht als Mediziner vor.

3 und 4 sind unsicher. [3]) el Aġânîun ist nach freundlicher Mitteilung von Herrn Prof. Steinschneider vielleicht aus Archigenes (Steinschneider, Med. § 27) verstümmelt. Nach einer freundlichen Mitteilung von H. Dr. W. Schmidt in Helmstedt ist *Aġânîs* nach Euklid, Suppl. ed. Curtze = Geminus, dieser war aber Mathematiker; auch in der leider noch nicht vollendeten Euklidausgabe von Besthorn und Heiberg ist S. 133 Aġânîs = Geminus gesetzt. Mit [4]) Asâjûs ist vielleicht Gesios (Gasijus) (Steinschneider Med. § 10, 12) gemeint, beide waren Mediziner.

[5]) Porphyrius war kein Mediziner; mit seinen philosophischen Leistungen haben sich aber die Araber viel beschäftigt, so z. B. *Ibn el Haitam*; vgl. Steinschneider an verschiedenen Stellen.

[6]) Rufus bei Steinschneider, Med. § 23.

[7]) Das Werk ist publiziert von de Goeje, Bibl. geogr. Arab. Bd. 8; unsere Stelle findet sich S. 201.

bekannten Brief, den er zurücksandte [a]s Antwort]: An Alexander, den König der Könige der Völker, von seinem Diener Aristoteles. Praemissis praemittendis. Du hast an mich [einen Brief] geschrieben, in dem Du das erwähnst, was Dich an dem Gebäude des goldenen Hauses in Indien in Erstaunen gesetzt hat, und was Du in ihm an wunderbaren Dingen gesehen hast, und in dem Du von dem hohen Gebäude berichtest, das mit allen Arten von Edelsteinen geschmückt ist, und wie das Auge mit Bewunderung erfüllt wird durch das rote Gold, so daß dessen Anblick sogar die Augen blendet und alle Welt davon redet. Ich habe an Dich geschrieben, o König, um Dich davon abzuhalten, daß Dich bei Deiner Kenntnis der vorangehenden himmlischen und der niedrigen irdischen Dinge etwas in Erstaunen setze, was die schwachen [Menschen] Hände mit ihrer Weisheit in den kurzen Tagen und der kleinen Spanne der Zeit [die das Menschengeschlecht existiert] gemacht haben. Ich wünsche vielmehr für Dich, o König, daß Du Deine Blicke erhebst zu dem, was über und unter Dir ist und zu dem, was sich zu Deiner Rechten und Linken befindet von dem Himmel und den Felsen und den Bergen und den Meeren und zu dem, was sie an dunkeln Wundern, hellen Palästen und hohen Bauten enthalten, die das Eisen nicht angreift und Wurfmaschinen *(el Maǵânîq)*[1]) nicht beschädigen, und die die schwachen gebrechlichen Körper in einer bestimmten Frist nicht zu bearbeiten vermögen". Bei der Beendigung seines Briefes ging er über zu einer Darstellung der Länder, der Meere, der Himmelskreise, der Sternbilder, der Meteore und von anderen Dingen, die in der Luft geschehen, und das haben wir behandelt zugleich mit dem Brief[2]) des Aristoteles an Alexander über die kirchlichen und weltlichen Regierungen und noch anderes als dieses in dem Buche „Kapitel der Wissenschaften und was sich

[1]) Über diese Maschine, die Katapulte, das *μάγγανον* der Griechen, wird bei anderer Gelegenheit gehandelt werden. Ursprünglich ist es „Kloben", z. B. beim Flaschenzuge.

[2]) In unserem Werke von *Mas'ûdî* kommt dieser Brief von Aristoteles vor, und zwar ist auf S. 87, Z. 6 erwähnt ein Brief „über die kirchliche und weltliche Regierung" und auf S. 116, Z. 6 steht „und zu seinen Briefen und Korrespondenz gehört, „über die Formen der königlichen und weltlichen Regierungen."

Einen Brief mit ähnlichem Titel „Über die Regierung" hat J. Lippert in seiner Inaug.-Dissertation, Halle 1891, publiziert.

in vergangenen Zeiten ereignet hat“ [1]). Und dieser Brief ist in den Händen der Menschen verbreitet [1]).

Den . . . entspricht eine wohl nicht in den Zusammenhang passende und hier kaum verständliche, jedenfalls verderbte Stelle, die sich auf die Epochen der Indier bezieht. Die wörtliche Übersetzung lautet: „Der Beginn ihrer Zeitrechnung seit dem Auftreten des ersten Budda unter ihnen sind es 12000 Jahre (*ʿÂm*) multipliziert mit 33000 Jahren (*ʿÂm*).“ In verständlicher Form finden sich entsprechende Ausführungen in den Goldwäschereien und Edelsteingruben von *Masʿûdî* [2]) in einem Abschnitt, wo auch von dem goldenen Hause gehandelt wird. In diesem soll der erste König von Indien sieben Weise versammelt haben, deren Lehren mitgeteilt werden. Ferner soll er in ihm Berechnungen, die sich auf die ältesten Dinge bezogen, niedergelegt haben. — In den Goldwäschereien heißt es: Die Zeit, welche zwischen dem Beginn und dem Ende dieser Periode (dem Hauptzyklus der Entwicklung) verstreicht, ist nach ihnen 36000 Jahre multipliziert mit 12000; das ist, was sie Hâzarwân nennen.

---

[1]) In der Vorrede zu unserem Werk gibt de Goeje eine Übersicht über die verschiedenen Werke von *Masʿûdî*, die in ihm zitiert sind; ganz besonders häufig ist dies mit den „Kapiteln der Wissenschaften“ der Fall.

[2]) Vgl. die Ausgabe von Barbier de Meynard etc. Bd. 1, S. 151. J. Gildemeister, Scriptorum arabum de rebus indicis loci etc. S. 133. Bonn 1838. Den oben angeführten Titel des Werkes hat J. G. Gildemeister begründet, Z. S. für Kunde des Morgenlandes, Bd. 5, S. 302. 1844. Barbier de Meynard will das goldene Haus mit Multan im Pendschab identifizieren, das ja in der Tat eine große Anzahl höchst glänzender Gebäude enthält. Nach verschiedenen Geographen hat es den Namen „Freude des goldenen Hauses“. Als Grund für den Namen wird angegeben, daß, als die Araber es zuerst eroberten, Mangel bei ihnen herrschte und sie in ihm Gold fanden, soviel als sie brauchten; vgl. zu *Mûltân Masʿûdî* Goldwäschereien Bd. 1, S. 377, *Iṣṭachrî* Bibliotheca geogr. Arab. Bd. 1, S. 173. *Ibn Ḥauqal* Bibl. geogr. Bd. 2, S. 229. *El Muqaddasî* Biblioth. geogr. Bd. 3, S. 473. *Ibn Chordâd beh* Biblioth. geogr. Bd. 6, S. 179 arab. Text und S. 139 der Übersetzung; hier ist auch von der Goldgewinnung aus den Flüssen die Rede. *Jâqût*, Geogr. Wörterbuch Bd. 4, S. 289.

Noch an anderen Stellen wird ein goldenes Haus erwähnt. Bei Jâqût (Bd. 3, S. 457) nach dem Reisebericht des *Misʿar ibn Muhalhil* (vgl. G. Jacob, Berichterstatter (3. Auflage) S. 71/72. 1896), der für diese Partien sehr unglaubwürdig ist, findet sich folgende Bemerkung: Ich ging von Mansûra (Mansûra ist die Hauptstadt von Sind und liegt am unteren Indus) nach Baġânîn, dies ist ein weites Land, dessen Ein-

Von einer brahmanischen Epoche „Kalpa“ teilt Hardy[1]) mit, daß sie aus 4320000 Jahren bestehe, nämlich aus 12000 göttlichen Jahren, von denen jedes aus 360 Jahren der Sterblichen bestehe; wir finden also ähnliche Zahlen wie bei Mas'ûdî, nur daß dieser noch zwei Nullen zugefügt hat.

Der im obigen mitgeteilte Brief des Aristoteles ist diesem wohl sicher fälschlich zugeschrieben. Er lehrt aber, eine wie hohe Meinung nach der Ansicht der Araber Aristoteles von der Beschäftigung mit den Naturerscheinungen im Gegensatz zu der mit den Werken der Menschen hatte. Auch der Schluß ist charakteristisch, da er dem Aristoteles eine kosmographische Darstellung zuschreibt.

Über den Brief habe ich in der älteren Literatur kaum etwas gefunden; man hat ihn wohl für alchemistisch gehalten, was aber sicher nicht der Fall ist.

Steinschneider[2]) bemerkt anschließend an eine Bemerkung von Maimonides „Das Buch vom Apfel und goldenen Haus sind Faseleien und leere Einfälle, beide werden dem Aristoteles mit Unrecht beigelegt.“ In einer Anmerkung schreibt er: „Unter diesem Titel ist mir kein Buch bekannt u. s. w.“

4. Bemerkungen zur Astronomie und Kosmographie der Araber.

a) Über die Bezeichnung des Himmelsglobus als Ei (vgl. S. 227).

Das Himmelsgewölbe wird zunächst als Ei bezeichnet, so heißt es im *Mafâtiḥ el 'Ulûm* S. 235: Die Kugel (*el Kurra*) ist ein bekanntes Instrument der Astronomen, aus ihm lernt man das Aussehen des Himmelsgewölbes und die Sternbilder kennen; es heißt auch das Ei (*el Baiḍa*).

---

wohner ihre Steuer an den Omaijaden und an die Herren des goldenen Hauses bezahlten. Es ist dies ein Haus aus Gold in einer Wüste von 4 Farasangen. Auf sie fällt kein Schnee, während es ringsherum schneit. Und in diesem Gebäude befindet sich eine Sternwarte. Dies Haus ehren die Indier und die Magier in hohem Grade.

[1]) R. S. Hardy, A. Manual of Budhism p. 8. London 1860. (Zu Kulpa vgl. auch Grundriß der indoarischen Philologie Bd. 3, Heft 3, S. 28 im Artikel über Astronomie von S. Thibaut.)

[2]) M. Steinschneider, die hebräischen Übersetzungen etc., S. 41. Berlin 1893.

Von arabischen Geographen wird ferner die Erde als der Dotter bezeichnet, der in der Mitte des Eies schwebt, so sagt *Ibn el Faqîh* in seinem Kompendium des Buches der Länder[1]).

„Einige Philosophen behaupten, daß die Erde rund sei, und zwar nach der Rundung einer Kugel, und daß sie in die Mitte der Himmelskugel wie der Dotter in die Mitte des Eies gelegt ist." Er fährt dann fort: „Und ein sanfter Wind geht um die Erde, der sie von allen Seiten nach dem Himmelsgewölbe zieht. Und die Konstitution (der Bau) der Kreaturen (in diesen sind neben den Menschen auch die Tiere, Pflanzen, Steine inbegriffen) ist eine derartige, daß der sanfte Wind an dem zieht, was an Leichtigkeit, und die Erde an dem, was an Schwere[2]) sich in ihrem (d. h. der Kreatur) Bereich befindet; denn die Erde verhält sich wie der Stein, der das Eisen anzieht."

Auch bei *Qazwînî*[3]) findet sich der Vergleich der Erde mit dem Eidotter; er gibt als allgemeine Ansicht der Araber, daß die Erde dieselbe Rundung[4]) wie eine Kugel besitze, und daß sie in der Mitte des Weltalles liege in einer und derselben Entfernung von allen Seiten.

Auch die Vorstellung der verschiedenen Rolle des Leichten und Schweren findet sich bei *Qazwînî*[5]). Er sagt: Einige behaupten, daß die Erde aus zwei Körpern zusammengesetzt ist, einem schweren und einem leichten, der leichte geht infolge seiner Natur in die Höhe, der schwere sinkt nach unten. Daher hindert jeder von ihnen den anderen, nach seiner Seite sich zu entfernen u. s. f.

---

[1]) De Goeje, Bibliotheca geographorum arabicorum Bd. 5, S. 4, Z. 10.

[2]) Hier ist der aristotelische Unterschied zwischen spezifisch Schwerem und Leichtem benützt.

In seiner Dissertation über die Definitionen (*Risâlat el Hudûd*), die zusammen mit acht anderen Traktaten in Konstantinopel 1298 (1881) gedruckt worden ist, gibt *Ibn Sînâ* S. 65 folgende Definitionen: Die Leichtigkeit ist eine natürliche Kraft, durch die der Körper von der Mitte infolge der Natur fortbewegt wird. Die Schwere ist eine natürliche Kraft, durch welche der Körper zu der Mitte infolge der Natur hin bewegt wird.

[3]) Text S. 144, Übersetzung 296.

[4]) *Mudawwar* ist nicht mit "kreisrund" zu übersetzen, sondern mit „von derselben Rundung". Qazwînî Text S. 144, Übersetzung S. 296.

[5]) Qazwînî Text S. 144, Übersetzung S. 296.

Die Parallelisierung der Wirkung des Himmelsgewölbes auf die Erdkugel mit der Wirkung eines Magneten hat ebenfalls Qazwîni (a. a. O.).

b) Ueber die Zahl der Fixsterne[1]).

Nach dem im Almagest überlieferten Sternkatalog (Ptolemäus, Opera omnia ed. Heiberg Bd. 2, S. 168. Leipzig 1893) des Hipparch hatte dieser 1022 Sterne angegeben; dieser Angabe folgt Qazwînî und auch unser Verfasser in bezug auf Aratus. In einer von E. Maaß herausgegebenen Stelle (E. Maaß, Commentariorum in Aratum Reliquiae S. 128. Berlin 1898) hat Hipparch die Gesamtzahl der Sterne zu 1080 angenommen. Daß nur etwa 1000 Fixsternpositionen von Ptolemäus in seinen Katalog aufgenommen wurden, dürfte nach S. Günther (Bayr. Industrie- und Gewerbeblatt 1887, S. 104) darauf beruhen, daß er nur diejenigen anführte, deren Positionen durch scharfe Messungen gesichert waren.

In bezug auf die Zahl der Fixsterne macht Qazwînî (arab. Text I, S. 28 Übersetzung von Ethé S. 60) folgende Bemerkung: Wisse, daß deren Anzahl genau festzustellen der menschliche Verstand zu ohnmächtig ist. Aber von den bedeutendsten derselben hat man doch bereits 1022 Sterne gezählt. Ferner hat man unter dieser Gesamtheit 917 Sterne gefunden, aus denen sich 48 Sternbilder zusammenreihen, deren jedes seine Sterne in sich schließt. Das sind die Sternbilder, die Ptolemäus in seinem Buche Almagest festgestellt hat. Einige davon sind in der

[1]) Die Zahl der Sterne (vgl. z. B. Newcomb-Engelmann, Populäre Astronomie, 2. Auflage, S. 480. Leipzig 1892), welche wir mit bloßem Auge sehen können, wechselt je nach der Schärfe und Übung des Auges und nach der größeren oder geringeren Durchsichtigkeit der Luft so sehr, daß sie nur ungefähr angegeben werden kann; indessen ist sie weit geringer, als man gewöhnlich und nach dem bloßen allgemeinen Eindruck annimmt. Dem normalen Auge mögen bei guter Luft am ganzen Himmel etwa 5500 Sterne einzeln sichtbar sein, in unseren Breiten, wo etwa $^3/_4$ sämtlicher Sterne nach und nach über den Horizont treten, ungefähr 4000. Argelander, der ein Auge mittlerer Schärfe besaß, führt bis zum 25. Grade südlicher Deklination nur 3256, Heis dagegen, der ganz ungewöhnlich scharfsichtig war, 5421 einzelne Sterne auf. Die Zahl der bei den weiter südlich gelegenen Orten sichtbaren Sterne ist entsprechend größer. Aratus hat sich eben mit den helleren Sternen bis etwa 5. Größe bei seiner Aufzählung begnügt.

nördlichen Hemisphäre, einige auf dem Gürtel des Tierkreises, der den Pfad der Planeten bildet, noch andere in der südlichen Hemisphäre.

In dem aus dem 10. Jahrhundert stammenden *Mafâtiḥ el ʿUlûm* (S. 210) sind 45 Sternbilder aufgeführt, 12 des Tierkreises, 19 Bilder nördlich und 14 südlich von demselben.

c) Ansichten der Araber über die Lage und Gestalt der Erde.

Dimeschqî (arab. Text S. 10, Übers. S. 5) behandelt im ersten Kapitel seiner Kosmographie die Gestalt und Stellung der Erde und gibt mehrere Anschauungen wieder. Es heißt unter anderem:

„Daß das Wasser sie [die Erde] umgibt, ist die Folge eines Naturgesetzes, daß jeder leichtere Gegenstand sich über den schwereren erhebt, nun ist das Wasser leichter als die Erde, so daß sein (des Wassers) Mittelpunkt von ihr umgeben ist[1]). Und die Luft zieht sie von allen Seiten gleichmäßig nach dem Himmelsgewölbe, wie der Magnet das Eisen anzieht: daher steht sie in der Mitte.

Andere behaupten, daß sie in der Mitte sich befindet infolge der Zurückstoßung [des Druckes], welchen die Himmelskugel von allen Seiten auf sie ausübt, gerade wie Staub, der in eine Flasche gefüllt ist, die sich sehr schnell und andauernd dreht, [jener Staub] nach der Mitte der Flasche gezogen wird. Und ebenso verhalten sich Strohstücke, wenn sie in ein mit Wasser gefülltes Becken gebracht werden und dies Wasser in eine starke Umdrehung versetzt wird; dann drehen sich die Strohstücke mit dem Wasser und sammeln sich in einem Haufen in der Mitte[2]).

[1]) Es heißt dies, daß der Mittelpunkt des Wassers im Innern der Erde liegt; vgl. hierzu auch die Ausführungen bei el Chazînî Balance of wisdom *Kitâb Mizân el Ḥikma* S. 37.

[2]) Den von *Dimeschqî* gegebenen Versuch mit der rotierenden Flasche erwähnt auch *Qazwînî*; er sagt (Text S. 145. Übers. 207):

„Andere wieder behaupten, sie (die Erde) stehe fest in der Mitte. Die Ursache hierfür sei die Umdrehung der Sphäre, die Schnelligkeit ihrer Bewegung und daß sie die Erde von allen Seiten nach der Mitte hinstoße; gerade wie wenn man Staub oder einen Stein in eine runde Glasflasche tut und diese kräftig im Kreise dreht; dann bleibt der Staub oder der Stein in der Mitte." Hier ist also nur der falsche Versuch beschrieben.

Von diesen Beobachtungen ist die erste natürlich nicht richtig, wohl aber die zweite; wahrscheinlich ist die zweite Beobachtung verallgemeinert worden, indem man das Wasser zu dem Gelingen des Versuchs als nicht nötig ansah.

Sowohl die Angabe von *Dimeschqî* als die von *Qazwînî* gehen wohl auf ältere Quellen zurück.

Daß das Wasser eine kugelförmige Gestalt anzunehmen sucht, weiß *Dimeschqî*, arab. Text S. 118, Übersetzung S. 166; er sagt: „Zu dem, was darauf hindeutet, daß das Wasser in seinem Wesen und in seiner allgemeinen Form eine kugelförmige Gestalt besitzt, gehört, daß, wenn wir es geschickt in die Luft werfen, es kugelartige Gestalt annimmt, von der Größe eines Eies bezw. größer oder kleiner. Ebenso verhält es sich in der Luft als Regen oder Hagel (Ǵamad eigentlich Eis), der aus den Wolken hervorkommt."

Gelegentlich der Anführung der Annahme, daß die Erde wie ein Stück Holz auf dem Wasser schwimmt, findet sich bei *Qazwînî* folgende interessante Beobachtung: Andere sagen, sie schwimme auf dem Wasser[1]) gerade so wie das Bleiblättchen auf dem Wasser schwimmt, wenn es eine große Ausdehnung besitzt, aber untersinkt, wenn es kleiner ist.

Den bekannten Beweis für die Kugelgestalt der Erde, daß, wenn man auf das Meer fährt, das Land verschwindet, und daß, wenn man sich dem Ufer nähert, zuerst die Spitzen der hohen Berge sich zeigen, und dann nacheinander die übrigen Gegenstände auftauchen, bis man ans Ufer kommt, das hier als eine Ebene erscheint, gibt auch *Dimeschqî* (Text S. 128, Übers. S. 166).

Auch bei *Masʿûdî* (Goldwäschereien, Bd. 1, S. 193) wird das Emporsteigen und Herabsinken der Berge bei der Annäherung und Entfernung im Verhältnis zur Küste als ein Beweis für die Rundung der Erde angegeben. Dasselbe findet sich an zahlreichen anderen Stellen, so bei el *Chazînî* S. 37.

d) Über die Ansichten der Araber über die Bewegung der Erde.

Bekanntlich ist schon von den Griechen die Frage diskutiert worden, ob die Erde sich bewege. In bezug auf diese

[1]) Qazwînî Text S. 144/45, Übers. S. 206; vgl. hierzu H. Hertz, Gesam. Abh. Bd. 1, S. 287.

Bewegung sprach Aristarch von Samos mit großer Bestimmtheit das Richtige aus. Diese Lehre hieß später die samische oder pythagoreische. Sie wurde im Altertum und später auch schon vor Kopernikus von den Astronomen oft besprochen und von vielen Seiten verurteilt[1]).

Im folgenden sollen einige Stellen aus arabischen Schriftstellern mitgeteilt werden, welche deren Ansichten über diesen Gegenstand wiedergeben.

1. Daß die Ansicht der Pythagoreer den Arabern bekannt war, geht aus folgender Stelle von *Qazwînî* (Text S. 144/145. Übers. S. 296) hervor:

Unter den Früheren gibt es einige Anhänger der Pythagoras, die behaupten, daß die Erde sich beständig im Kreise herumbewegt, und daß der Kreislauf der Sterne auf einer Umdrehung der Erde und nicht auf einer solchen der Sterne beruht.

2. Unter den Werken von *Abû Bekr Muḥammad Ibn Zakarîjâ el Râzî*[2]) (Rhases), dem berühmten Arzt, der in einer modifizierten Form Bubakar des Namens *Abû Bekr* im Mittelalter als Alchemist bekannt war, führen der *Fihrist* und *Ibn Abî Uṣaibi'a* folgende auf.

Im Fihrist (S. 302 Z. 2 von oben) heißt es: Abhandlung über den Untergang der Sonne und der Sterne und darüber, daß dies nicht von der Bewegung der Erde, sondern von der Bewegung des Himmelsgewölbes herrührt.

Vollständiger lautet der Titel bei *Ibn Abî Uṣaibi'a* (Bd. 1, S. 318, Z. 3 von unten): Abhandlung darüber, daß das Untergehen der Sonne und der übrigen Sterne (von uns fort) und das Aufgehen derselben (über uns) nicht wegen der Bewegung der Erde, sondern wegen der Bewegung des Himmelsgewölbes stattfindet.

Ein anderes Werk heißt nach *Uṣaibi'a* (S. 315, Z. 9 v. u.) Werk über die Beschaffenheit (äußere Gestalt) (*Haia*) des Weltalls. Seine Aufgabe war, zu beweisen, daß die Erde kugelförmig ist, und daß sie in der Mitte des Himmelsgewölbes (*Falak*) sich befindet, es besitzt zwei Pole (*Quṭbân*, Suter über-

---

[1]) Vgl. hierzu E. Strauß, Dialog über die Weltsysteme von Galileo Galilei, S. XIII. Leipzig, Teubner 1892 und E. Wiedemann, Studien zur Geschichte Galileis, Sitzungsber. d. physik. med. Soz. 36, S. 285. 1904.

[2]) Vgl. E. Wiedemann Beitr. II, S. 349.

setzt zwei Axen), um die es sich dreht, und daß die Sonne größer als die Erde ist und der Mond kleiner als sie.

Von *el Bêrûnî* ist uns folgender Titel überliefert[1]): Buch von ihm über die Ruhe der Erde oder ihre Bewegung.

Zur Bestimmung der Größe der Erde schlägt *el Bêrûnî* (a. a. O., S. 41) die aus folgendem Büchertitel sich ergebende Methode vor: Über die Bestimmung der Größe der Erde durch die Bestimmung der Senkung (Depression *Inḥiṭâṭ*) des Horizontes von den Gipfeln der Berge (d. h. man bestimmt, um wie viel der Horizont sinkt, wenn man auf Berge steigt).

5. Einige Biographien von griechischen Gelehrten nach Qifṭî.

Apollonius der Zimmermann[2])

ein Geometer, der in alter Zeit lebte. Er lebte lange vor[3]) Euklid. Von ihm rührt das Werk über die Kegel her, das über die krummen Linien handelt und nicht über die geraden Linien und auch nicht über die Kreisbögen. Als man die Bücher aus den Ländern der Römer zu *el Mamûn* brachte, da brachte man von diesem Werk ausschließlich den ersten Teil, der sieben Bücher umfaßte. Als man das Werk übersetzte, zeigte seine Vorrede, daß es aus acht Büchern besteht, und daß das achte die Ideen der sieben ersten und noch mehr enthält. In ihm sind zahlreiche Sätze entwickelt und nützliche Dinge, welche man wünscht.

Seit jener Zeit bis in die Gegenwart suchten diejenigen, die sich mit diesem Gegenstande beschäftigten, dieses Buch, ohne daß sie eine Nachricht darüber erhielten. Es ist aber zweifellos, daß es in den Bibliotheken der Könige [Kaiser] vorhanden war, da diese Wissenschaften bei den griechischen Königen [Kaisern] in hohem Ansehen standen. Ich hatte Ge-

---

[1]) *El Bêrûnî*, Chronologie von E. Sachau, S. 47. Leipzig 1878.

[2]) Qifṭî S. 61.

Ich habe bei der Übersetzung diejenige von Wöpcke J. asiat. (8) Bd. 17, S. 307 mit benutzt; der Text von ihm weicht nur wenig von dem von Lippert mitgeteilten ab. An wenigen Stellen habe ich geglaubt, etwas anders als Wöpcke übersetzen zu sollen.

[3]) Es ist zu beachten, daß es heißt „lange vor Euklid", da doch Apollonius von Perga gemeint ist. Dieser lebte nach Euklid etwa 265 v. Chr.

legenheit, mich mit einem Manne zu unterhalten, der sich in unserer Zeit etwas mit dieser Wissenschaft beschäftigte oder es bezüglich dieses Buches behauptete. Er sagte: „Man hat es gefunden“ und begann es zu beschreiben. Er berichtete aber Dinge, die nicht mit den Worten des Verfassers bei der Beschreibung des Buches übereinstimmten; da sah ich, daß er in der Grundlage und der Ableitung aus ihr unerfahren war. Da verließ ich ihn und ließ ihn in seiner Unwissenheit. Dieses Werk, nämlich „die Kegel“, von Apollonius und ein anderes Werk, das er über dieses Gebiet schrieb, sind die Ursache, daß Euklid sein Werk nach einer langen Zeit verfaßte, wie später in der Vita des Euklid behandelt werden wird, wenn Allah, der erhabene, will, denn es ist passender an jenem Ort.

Die *Benû Mûsà Ibn Schâkir* erzählen im Anfang des Werkes über die Kegel, daß Apollonius ein Alexandriner war, und daß sein Werk über die Kegel aus mehreren Ursachen Schaden litt. Zu diesen gehört die Schwierigkeit seiner Abschrift und daß man es unterließ bei der Korrektur gründliche Untersuchungen anzustellen; der zweite Grund ist, daß das Werk zerstört wurde und die Erinnerung an dasselbe verschwand, und daß es sich in einzelnen Stücken unter die Menschen verteilte, bis in Askalon ein Mann mit Namen *Ûṭiqûs*[1]) (Eutokius) auftrat; er war in der Geometrie bewandert, ein wohlunterrichteter Mann. Die *Benû Musà* berichten, daß dieser Mann schöne Werke über die Geometrie verfaßt habe, von denen zu uns durchaus nichts gekommen ist. Als er von dem Buch, soviel er konnte, gesammelt hatte, stellte er von ihm vier Bücher wieder her. Die *Benû Mûsà* sagen, daß das Werk 8 Bücher hat und der von ihm aufgefundene Teil 7 Bücher und etwas von dem achten umfaßte. Die ersten vier Bücher übersetzte unter der Leitung von *Aḥmed Ibn Mûsà* ein Mann *Hilâl Ibn Hilâl el Ḥimṣî* (aus Emesa) und die drei letzten *Ṯâbit Ibn Qurra el Ḥarrânî* (aus *Ḥarrân*) und das, was von dem achten Buch vorgefunden wurde, nämlich vier Propositionen.

Die von ihm verfaßten Werke sind: 1. Das Werk über die Kegel (sieben Bücher und einiges vom achten). 2. Das Werk über das Schneiden der Linien in einem Verhältnis (2 Bücher).

---

[1]) Wöpcke hat Antiochus (*Anṭiqûs*).

3. Das Werk über das Verhältnis für die Grenzen[1]) (2 Bücher), das erste hat *Ṯâbit* in Ordnung gebracht und das zweite ist ins Arabische übersetzt, aber nicht verständlich. 4. Das Werk über das Schneiden der Ebenen nach einem Verhältnis (ein Buch). 5. Das Werk über die berührenden Kreise. — *Ṯâbit Ibn Qurra* sagt, daß von ihm eine Abhandlung darüber existiert, daß, wenn zwei Linien unter einem Winkel, der kleiner ist als zwei Rechte, verlängert werden, sie sich treffen"[2]).

Bemerkung: Von Apollonius wird in dem dem Archimedes zugeschriebenen Werk über die Wasseruhr (vgl. w. u.) eine Schrift erwähnt: Herstellung des Instrumentes mit dem Flötenspieler von Apollonius dem Zimmermann und Geometer (C. de Vaux, Journ. asiat. (8) Bd. 17, S. 307. 189.

Archimedes[3]).

Qifṭî berichtet S. 66:

Archimedes, der Weise, der Mathematiker[4]), ein Grieche, lebte in Ägypten und befestigte dort sein Wissen. Er lernte durch die Ägypter die verschiedenen Gebiete der Geometrie kennen, da sie sich mit ihnen von alters her befaßten. Er hat viele schöne Werke verfaßt. Mir hat berichtet *el Chaṭîb* (der Prediger) *Amîn el Dîn Abû el Ḥasan ʿAlî Ibn Aḥmad Ibn Ǵaʿfar Ibn ʿAbd el Bâqî el Abânî el ʿOṯmânî el Umawî* (der Omejjade) *el Qifṭî*, und dieser war der Vortrefflichste, den ich gesehen habe, an Adel, an Trefflichkeit, an Beredsamkeit und an Hilfsbereitschaft. Er sagt: Ich erreichte die erfahrensten Scheichs von den Berühmtheiten meines Landes, und sie waren darüber einig, daß der, welcher den größten Teil der Ländereien Ägyptens verschloß (abschloß) und der den Grund zu den Dämmen legte, durch die eine Verbindung von einem Ort zu einem andern

[1]) An Stelle von *Fî'l Nisba lil Ḥudûd* gibt Steinschneider (Math. § 107 S. 186) an *el Nisba el maḥdûda* d. h. über das bestimmte Verhältnis.

[2]) Wöpcke übersetzt das letzte „ein Kapitel darüber, daß zwei Linien sich treffen, wenn sie mit einer anderen weniger als zwei Rechte bilden.

[3]) Qifṭî S. 66.

[4]) Andere Handschriften haben noch: sein Geburtsort war die Stadt Syrakus auf der Insel Sizilien.

zur Zeit des Nils (d. h. wenn derselbe steigt) hergestellt ist, Archimedes war. Er hat dies für einen von Ägyptens Königen ausgeführt. Die Ursache dafür war, daß die Einwohner der Mehrzahl der Orte in Ägypten, wenn der Nil kam, sie verließen und auf die anstoßenden Berge stiegen und dort aus Furcht vor dem Ertrinken blieben, bis der Nil sich verlief. Wenn der Nil zu sinken begann, so stieg jede Gemeinde zu ihren Ländereien herab und begann zu säen. Die tiefgelegenen Stellen des Landes hinderten sie aber dadurch, daß das Wasser sich darin verfangen hatte, zu den hoch gelegenen zu gelangen, bis sie trocken geworden waren. So konnten sie nicht besäet werden, und es entging ihnen ein großer Ernteertrag. Als dies Archimedes zu seiner Zeit erfuhr, vermaß er die Ländereien der meisten Orte auf Grund des höchsten Standes, den der Nil erreichte, und verschloß sie mit Mauern und baute auf ihnen die Orte; zwischen den Orten baute er die Dämme und in der Mitte der Dämme Brücken, durch die das Wasser von dem Lande eines Ortes zu dem anderen gelangte. So säet ein jeder von ihnen die Saat zu seiner Zeit ohne Verlust. Von jedem Landgut setzte er ein bestimmtes Stück Land fest, dessen Ertrag in jedem Jahre zur Erhaltung der Dämme verwendet wird; diese sind bis zur Gegenwart bekannt, und dazu dient in Ägypten ein besonderer Dîwân (Behörde) mit Namen Dîwân der Äcker der Dämme (*Dîwân Fudn el Ġusûra*, ein *Faddân* = $333^1/_3$ □ Ruten), und darauf wird viele Aufmerksamkeit und Sorge verwendet, und ich weiß, daß, als ich noch ein Kind war, dieser Bezirk nebst den östlichen Distrikten von *el Ġauf* Ägyptens meinem Vater (Gott sei ihm gnädig) zur Inspektion übertragen wurde. Er hatte Wachen, Inspektoren und Pächter. Die Beschäftigung hiermit war die ermüdendste von allen Beschäftigungen.

Archimedes schrieb eine Anzahl Werke über diese Gegenstände und was damit zusammenhängt:

1. Über das Siebeneck im Kreise. 2. Über Ausmessung des Kreises. 3. Über Kugel und Zylinder. 4. Über Quadratur des Kreises (1 Buch). 5. Über die sich berührenden Kreise (1 Buch). 6. Über die Dreiecke (1 Buch). 7. Über die parallelen Linien. 8. Über die Annahmen für die Prinzipien (Elemente) der Geometrie. 9. Über die gegebenen Größen (1 Buch). 10. Über die Eigenschaften der rechtwinkeligen Dreiecke (1 Buch).

11. Werk der Stundenanzeigung der Wasserinstrumente, welche Kugeln (Schleudersteine *Banâdiq*) schleudern (1 Buch)[1]).

Und *Muhammed Ibn Isḥaq el Nadîm*[2]) berichtet in seinem Werk. Er sagt: Mir hat ein vertrauenswürdiger Mann berichtet, daß die Römer von den Büchern des Archimedes 25 Lasten verbrannten; er sagt, darüber giebt es einen weitläufigen Bericht, welcher aber nicht mitgeteilt wird, weil er zu lang ist[3]).

Eine Reihe von Titeln von Schriften des Archimedes hat uns Hero in seiner Mechanik[4]) überliefert (die Stellen sind zitiert nach Heronis opera ed. Nix. II, 1): 1. Werk über die Stützen (I, 25, S. 70). 2. Werk über die Hebel (I, 32, S. 86). 3. Werk über das Ausgleichen der Neigung (II, 7, S. 114). 4. Schriften über das Gleichgewicht von Figuren, bei denen Hebel zur Anwendung kommen (I, 24, S. 64). — In den Pneumatika Bd. I, S. 25 wird Archimedes' Abhandlung von den schwimmenden Körpern zitiert.

Das erste Werk läßt sich mit keinem bekannten Werke in Zusammenhang bringen.

Für die drei anderen nimmt Carra de Vaux[5]) an, daß sie der verlorenen Schrift des Archimedes *περὶ ζυγῶν*, de stateris oder über die Wagen entsprechen. Dieser Schrift dürften auch manche der Sätze über den Schwerpunkt von *Ibn el Haiṯam* und *Abû Sahl el Kûhî* in *el Chazinî*'s Wage der Weisheit S. 26 entnommen sein, vor allem aber die dort S. 86 befindliche Beschreibung der Wage selbst. Angaben über den Schwerpunkt finden sich nicht in Archimedes' Schrift de planorum equilibriis, wohl aber

---

[1]) Im *Fihrist* heißt der Titel: Werk des Instrumentes der Stunden-[anzeigung] des Wassers, welches Kugeln schleudert. — Hierzu ist zu beachten, daß *Sâ'a* ursprünglich Stunde, dann Uhr bedeutet. Wir haben hier den Übergang zwischen den beiden Bedeutungen.

[2]) Es ist dies der Verfasser der Fihrist.

[3]) Vielleicht ist statt „*juḏkar*" zu lesen „*naḏkur*", dann heißt es „welchen wir nicht mitteilen wollen, da . . ."

[4]) Die Mechanik ist herausgegeben arabisch und französisch von Carra de Vaux, J. asiat. (9). Bd. 1, S. 389 u. Bd. 2, S. 152 u. 420. Paris 1892, und ferner arabisch und deutsch von L. Nix und W. Schmidt. Leipzig 1900.

[5]) Carra de Vaux J. asiat (9) Bd. 1, S. 412. 1902.

in der Quadratura parabolae. Die betreffende Stelle entstammt nach Heiberg wahrscheinlich der Schrift *περὶ ζυγῶν*[1]).

Eutocius (*Ûtûqijûs*)[2])

ein Geometer, Grieche, Alexandriner, ausgezeichnet in seiner Wissenschaft, der oft Zitierte; er schrieb nach Archimedes und Ptolemäus. Die Erinnerung an ihn ist in den Schulen der mathematischen Wissenschaften eine ruhmvolle. Zu seinen Werken gehört: Kommentar des ersten Buches des Werkes von Archimedes über die Kugel und den Zylinder. Das Werk über die zwei Linien. Er bewies dies alles aus den Aussprüchen der geometrischen Philosophen. Erklärung des ersten Buches des Werkes von Ptolemäus über die Schicksalsbestimmung auf Grund der Konstellation der Gestirne.

Fiṭûn[3])

der Arithmetiker (wörtlich der sich mit Zahlen beschäftigt (*ʿadadî*); einige setzen an Stelle des „F" ein „Q", der Weise, der Grieche, er lebte am Schluß der griechischen Herrschaft. Seine Fähigkeiten umfaßten die beiden Gebiete der Zahlenlehre und der Vermessungskunst. Er hat hierüber Werke verfaßt, die unter den Vertretern dieses Gebietes verbreitet sind. Er lebte zur Zeit des Ptolemaeus Philadelphus[4]), des Königs, der als Freund der Wissenschaft bekannt war. Sein Werk ist bekannt bei den Barbaren (Persern) als Werk des *Fiṭûn* über das Rechnen (*Ḥisâb*) an die Königin Kleopatra, von ihr rührt der auf sie zurückgeführte Qânûn her. Dieser Qânûn enthält eine kurze Darstellung, er ist leicht verständlich und wird zunächst mit Nutzen nachgesehen, man sagt, daß er ein für sie [die Kleopatra] geschriebenes Werk des Fitûn war, und daß dieser es ihr schenkte, und daß sie es sich zuschrieb, und Gott weiß es besser.

---

[1]) Archimedes opera omnia ed. Heiberg Bd. 2, S. 306, 23 u. Note. Cf. Heiberg, Quaestiones Archimedeae p. 32.

[2]) Qifṭî, S. 73.

[3]) Qifṭî S. 259, es kann auch *Fatûn* heißen; ob Fitûn mit Philon etwas zu tun hat, ist fraglich.

[4]) *Badalus*, auf S. 99 steht *Badallus*, was Lippert als Philadelphus auffaßt.

Heron (*Îrun*)[1]

der Ägypter, der Byzantiner (*el Rûmî*)[2], der Alexandriner. Er war bewandert in den Wissenschaften der Leute seiner Zeit, er schrieb seine Werke, spendete Nutzen und lenkte die Aufmerksamkeit auf die Geheimnisse dieser Kunst. Zu seinen Werken gehört: Das Werk über das Lösen der Schwierigkeiten des Werkes des Euklid[3]. Das Werk über die pneumatischen sinnreichen Erfindungen.

Hipparch (Ibarchus)

(er heißt auch Îbarchus) war der Vorzügliche, der Vollkommene in den mathematischen Wissenschaften zu der Zeit der Griechen. Er war ein kenntnisreicher Gelehrter von den Weisen der Chaldäer, und er war ein Fürst in der Wissenschaft der Beobachtungen und der Herstellung der dazu dienenden Instrumente. Er beobachtete sorgfältig und stellte korrekte Untersuchungen an, er stellte gesicherte Beweismittel und Beweise auf und verfertigte die berühmten Instrumente. Er lebte etwa 300 Jahre nach Mitun (Meton) und Aqṭimun (Euktemon), den Beobachtern; auf ihn stützte sich Ptolemäus, der Grieche, el Qulûḏî[4] bei seinen Beobachtungen und sehr häufig bei dem, was er in seinem Werk Almagest sagt. Zu seinen Werken gehört ein Werk[5] „Geheimnisse der Sterne über die Kenntnis der Reiche, Religionsgemeinschaften und Vorhersagungen.“ Dies Werk wurde ins Arabische übersetzt. Wer seine Aufmerksamkeit auf dasselbe richtet, erkennt, daß es ein nach seinem inneren Gehalt vorzügliches Werk ist; es bezeugt seinem Verfasser ein tiefes

[1]) Qifṭî, S. 73.

[2]) Ob die Doppelbezeichnung der Byzantiner, der Alexandriner darauf hinweist, daß zwei verschiedene Männer mit dem Namen Heron zusammengeworfen sind, mag dahingestellt bleiben.

[3]) Dies ist ein Kommentar zu Euklid Elementa I—VIII. Er ist in dem Kommentar von el Nairîzî enthalten, den nach dem Codex Leidensis 399, 1 arabisch und lateinisch Heiberg und Besthorn in Kopenhagen herausgeben. Vollständiger ist er in einer lateinischen Übersetzung von Gerhard von Cremona enthalten, die M. Curtze im Supplement zu Euklids Werken, Leipzig 1899, herausgegeben hat.

[4]) Nach einem Vorschlag von J. Lippert habe ich meist *Kitâb* mit Werk und nicht mit Buch übersetzt.

[5]) Zu dieser Bedeutung von Malâchim vgl. auch Dozy Suppl. Bd. 2, S. 522.

Wissen auf diesem Gebiet. Die Ansicht der Babylonier über die Bewegungen der Sterne und über das Bild von dem Aspekt des Himmelsraumes (Falak) ist wegen der Schicksale, die ihnen zustießen, nämlich wegen des Unterganges des Reiches, ebenso wie die Kenntnis von ihren Lehren nicht zu denen, die nach ihnen gelebt haben, gelangt, und von ihren Beobachtungen nur diejenigen, welche Ptolemäus in seinem Almagest von ihnen überliefert hat. Er mußte dies bei der Korrektion der Planetenbewegungen tun, da er bei seinen griechischen Genossen keine Beobachtungen fand, auf die er sich verlassen konnte.

Die bei Qifṭî erwähnten Mîṭun und Akṭîmun sind offenbar die griechischen Astronomen Meton und Euktemon, die den griechischen Kalender verbesserten (vgl. Rosenberger, Geschichte der Physik I, S. 14. Braunschweig 1882) und ca. 430 vor Christus lebten. Sie finden nämlich, daß 19 Jahre der Zeit nach gleich 235 Mondumläufen (synodischen Monaten) sind, und verteilen darum nach einem ziemlich komplizierten System 6940 ($365^1/_4 . 19$) ganze Tage auf 19 Jahre. Hierdurch bewirkten sie, daß mit jedem neuen Jahre auch der Mond nahezu wieder dieselbe Lichtphase zeigte, und daß also die Zeiteinteilung mit Sonnen- und Mondlauf in Übereinstimmung blieb; eine Forderung, welche die Griechen bis dahin vergeblich an ihren Kalender gestellt hatten. Die so erlangte Periode von 19 Jahren wird die Metonsche genannt, und die Ordnungszahl eines Jahres in dieser Periode führen wir heute noch in unseren Kalendern als goldene Zahl an.

Von der Tätigkeit dieser beiden Gelehrten zu der Verbesserung des Kalenders berichtet Qifṭî nichts. Er sagt über sie S. 68 und S. 321:

Euktemon *(Aqṭimun)*

der Weise, der Mathematiker, der Vortreffliche, der vollkommen war in seinem Wissensgebiet unter den Alexandrinern zu den Tagen der Griechen, war erfahren in den mathematischen Wissenschaften, er verifizierte die Beobachtungen[1]) und war erfahren in der Anwendung der Instrumente; er und *Mîṭun* vereinigten sich zum Beobachten in der Stadt Alexandria im Lande Ägypten, und sie beobachteten und berichteten, was sie sicher festgestellt

[1]) Könnte auch heißen „der Beobachter".

hatten. Es überlieferten (erörterten) dies die Gelehrten, die nach ihnen kamen, bis zu der Zeit von Ptolemäus *el Qulûdî*, der nach ihnen beiden in Alexandria beobachtete. Ihre Lebenszeit lag 571 Jahre vor der seinigen.

Meton[1]) *(Miṭun)*

der Alexandriner. Dieser Mann war ein Führer in den Wissenschaften des Himmelsgewölbes (*Falak*), ein Fürst in der Wissenschaft der Beobachtungen und der Verwendung der Instrumente und des Konsolidierens ihrer Grundlagen. Er und *Aqṭîmun* (Euktemon) vereinigten sich in Alexandria zur Errichtung der Beobachtungsinstrumente, und sie beobachteten von den Sternen, wann sie Lust hatten, um ihre Orte zu ihrer Zeit festzustellen, und sie beobachteten in Alexandria. Sie lebten 570 Jahre[2]) vor Ptolemäus, dem Verfasser des Almagest.

Menelaos (*Manâlâus*)[3]),

der Mathematiker, gehört zu den Führern der Geometer zu seiner Zeit. Er war ein Grieche und lebte vor der Zeit des Ptolemäus, des Beobachters, denn dieser erwähnt ihn in dem Buch Almagest. Wegen des Nutzens dieser Tätigkeit nahm er in der Stadt Alexandriens, die *Manf* (Memphis) heißt, den Ehrenplatz ein. Seine Werke wurden zuerst ins Syrische und dann in das Arabische übersetzt. Zu seinen Werken gehört: Kenntnis der Quantität, in welche zusammengemischte Körper getrennt werden[4]).

---

[1]) Qifṭî, S. 321.

[2]) Oben sind 571 Jahre angegeben; die Zeitdifferenz zwischen Meton und Euktemon einerseits und Ptolemaeus andererseits ist richtig angegeben.

[3]) Qifṭî S. 321.

[4]) Vgl. Steinschneider, Math. § 112, Suter S. 19. Sonderbarerweise werden Menelaos' Hauptwerke nicht erwähnt. Sehr eingehend hat A. A. Björnbo in seinen Studien über Menelaos' Sphärik (Abh. z. Geschichte der Math. Heft 14, Leipzig 1902) über Menelaos' Leistungen gehandelt.

Auf derselben Seite des *Qifṭî* findet sich ein Name *Milâus*, den Suter wohl richtig auch als Menelaos auffaßt. Die Übersetzung der Stelle lautet:

„*Milâus* war ein Weiser, ein Mathematiker, erfahren in der Geometrie, über die er Werke verfaßt hat. Er war berühmt bei denen, die sich mit diesem Gegenstand beschäftigten."

Er richtete es an den König *Ṭûmâṭijâus* (Domitian[1]), vor seinem Tode 41 Jahre [?])[1]).

Theodosius[2])

gehörte zu den Gelehrten, und zwar zu den Mathematikern und Geometern, die den griechischen Gelehrten allgemein bekannt waren. Von ihm rühren sehr schöne Werke über die Mathematik und Geometrie her. Von ihm stammt das berühmte Werk her, welches das herrlichste der Werke ist, die zwischen dem Werk des Euklid und dem Almagest studiert wurden[3]), nämlich das Werk über die Kugeln (Sphärica).

Theon[4]),

der Alexandriner, der Ägypter, war ein Geometer (Mathematiker)[5]) zu seiner Zeit; er war zu seiner Zeit und in seinem Lande und außerhalb desselben berühmt; seine Schriften verbreiteten sich über die Länder der Erde. Er lebte nach Ptolemäus, und seine Werke sind: Über den Gebrauch der Armillarsphäre. Tabellen (*Ġidwâl*) zu der Tafel (*Zîj*) des Ptolemäus, die unter dem Namen el *Qânûn el Musajjar*[6]) (d. h. der in Umlauf gesetzte Kanon, etwa

---

Das erwähnte Werk handelt von den spezifischen Gewichten der Metalle und der Bestimmung der Zusammensetzung einer Mischung zweier derselben mittelst der Wage. Auf dasselbe ist in *el Chasinî*, Balance of wisdom S. 12 (der Name des Königs lautet hier *Dûmâṭiânûs*) verwiesen. Menelaos wird noch einmal in dieser Schrift S. 34 erwähnt. Von dem Werk *el Bêrûnî's*, das in der Wage der Weisheit sehr oft zitiert und benutzt wird, ist uns in dem von *el Bêrûnî* selbst verfaßten Verzeichnis seiner Werke, das Sachau in der arabischen Ausgabe der Chronologie (Leipzig 1878) gibt, der Titel (S. 43 unten) erhalten. Er heißt: Abhandlung über das Verhältnis, welches zwischen den Metallen und den Edelsteinen in dem Volumen besteht, auf 30 Blättern. — Es war also eine umfangreiche Abhandlung.

[1]) Der Text in der Klammer steht nur in einer Handschrift und ist vielleicht verderbt, das in ihr stehende *ma* bedeutet vielleicht Zahlbuchstaben.

[2]) Qifṭî, S. 108.

[3]) Es gab eine Reihe von Schriften, die zwischen den Elementen des Euklid und dem Almagest des Ptolemaeus gelesen werden sollten, die sog. mittleren Bücher (vgl. über diese M. Steinschneider, Schlömilch, Z. S. Bd. 10, S. 456. 1865).

[4]) Qifṭî, S. 108.

[5]) Steht nicht in allen Handschriften.

[6]) Der *Κανών πρόχειρος*, denn nach Suidas schrieb Theon: *Εἰς τὸν Πτολεμαίου πρόχειρον κάνονα* (vgl. J. Lippert, Studien etc., Braunschweig 1894, S. 39 ff.).

Handtabelle) bekannt ist. Über den Gebrauch des Astrolabium. Einleitung in den Almagest.

6. Über die Kenntnis von Uhren bei den Arabern.

Im Anschluß an die Alten[1]) haben die Araber Uhren nach verschiedenen Systemen benutzt, Sonnenuhren, Uhren, bei denen Kerzen in Anwendung kommen, Wasseruhren, Sanduhren. Eine Zusammenstellung solcher Uhren findet sich in den *Mafâtîḥ el ʿUlûm* S. 235[2]).

Im folgenden soll einiges über die Kenntnisse der Araber über die Wasseruhren mitgeteilt werden. Eine Reihe von Angaben findet sich in dem höchst wertvollen Werke von E. Bassermann-Jordan, Die Geschichte der Räderuhr. Frankfurt a. M. 1905. Ausführlich werde ich auf diese Frage zurückkommen bei der Publikation des unten aufgeführten Werkes von *Riḍwân Ibn Muḥammad Ibn ʿAlî el Churâsânî* (vgl. S. 231).

Die Araber haben eine besondere Wissenschaft der Uhren und der Wasseruhren[3]), die zu den geometrischen gehört.

---

[1]) Eine zusammenfassende Darstelllung der Sonnen- und Wasseruhren bei den Alten geben u. a. Ch. Daremboug et Ed. Saglio, Bd. 3, S. 256. Paris 1900.

[2]) Bei H. Ch. Bd. 1, S. 397 wird unter den astronomischen Instrumenten (den Instrumenten zum Beobachten) folgendes angegeben: *el Binkâm el raṣdi* (die astronomische Wasseruhr) und andere als diese, welche alle *Ġijâṯ el Din Gamschid* (vgl. über ihn Suter, Math., S. 173, Nr. 429) in einer persischen Abhandlung beschrieb mit Ausnahme derer, welche *Taqî el Dîn* (vgl. über ihn Suter, Math., S. 191, Nr. 471) erfunden hatte.

[3]) Im folgenden sind ein Paar Angaben „über die Wissenschaft der Uhren" bei den Arabern mitgeteilt.

Anṣârî sagt S. 83:

Die Wissenschaft über die *Binkamât* (Uhren) ist eine Wissenschaft, durch die klar gemacht wird, wie man die Instrumente konstruiert, durch welche die Zeit gemessen wird. Ihr Nutzen besteht in der Kenntnis der Stunden des Gottesdienstes und in der Ableitung des Aufganges der Sterne und der Teile des Tierkreises. Die Alten haben sich statt anderer Apparate mit solchen begnügt, die durch den Ausfluß *α*) des Wassers aus ihnen bewegt werden, weil sie den Positionen der Himmelskörper auf dem Bilde entsprechen *β*) . . .

α) *Insirâb.* Diese Bedeutung der 7. Form muß aus dem Zusammenhang und den Bedeutungen der anderen Formen in den Lexicis erschlossen werden.

β) Dem Verfasser schweben offenbar Uhren vor, ähnlich derjenigen von Archimedes, bei der ein Zeiger sich vor dem Tierkreis bewegt.

Bei den Arabern (S. 229) wird Hero als einer, der sich mit Uhren beschäftigt hat, bezeichnet. Aus dem oben S. 247

Das Buch des Archimedes über sie ist der Stützpfeiler (der zuverlässige Berater).

Bei *Ḥagî Chalfa* heißt es Bd. 1, S. 398: Wissenschaft von den Instrumenten der Stunden (*ʿIlm Âlât el Sâʿât*), wie z. B. *el Ṣanâdîq* (die Kisten, von solchen spricht auch Riḍwân, und die *Ḍawârib* (die Schlagenden) und ähnliches. Ihr Nutzen ist offenbar, und über sie sind große Bände geschrieben . . . *Abu'l Chair* rechnet sie zu den Zweigwissenschaften der Geometrie. Es entgeht Dir aber nicht, wie ich besonders bemerke, daß dieser Gegenstand zur Lehre von den Uhren (*el Binkamât*) gehört, die jener zu den Zweigwissenschaften der Geometrie zählt.

Weiter heißt es Bd. 2, S. 59:

Die Wissenschaft von den Uhren (*ʿIlm el Binkâmât* vgl. S. 229) nämlich von den Gestalten und den Figuren, die man konstruiert, um die gleichmäßigen und die zeitlichen Stunden (vgl. S. 257) kennen zu lernen. Es ist dies eine Wissenschaft, durch die man lernt, wie man Instrumente konstruiert, durch die man die Zeit mißt. Ihr Zweck ist, bestimmte Bewegungen in bestimmten Körpern zu erzeugen, die nach bestimmten Intervallen aufhören, und ihr Ziel ist, die Stunden der Gebete und ähnliches zu bestimmen, ohne daß man die Bewegungen der Sterne beobachtet [hier folgen Bemerkungen, wozu man die Zeitbestimmung mit den Uhren noch sonst verwendet]. Sie [die Wissenschaft] erstreckt sich auf zwei Teile der philosophischen Wissenschaft, nämlich die Mathematik und die Naturwissenschaft. Außerdem bedarf sie eines mannigfachen Verständnisses, eines beweglichen Geistes und einer Geschicklichkeit in vielen Künsten.

Die Uhren (*Binkamât*) werden in Sanduhren eingeteilt, bei ihnen ist der Nutzen nicht groß, und in Wasseruhren, von denen es verschiedene Arten gibt, und auch bei ihnen ist kein Nutzen, und in sich drehende Uhren, die aus Rädern (*Dawâlîb*) zusammengestellt sind, von denen das eine das andere dreht.

Von Schriften über Uhren erwähnt H. Chalfa folgende:

el Iʿlâm bi Schadd el Binkâmât (Mitteilung über die Einschnürung der Uhren, H. Ch. Bd. 1, S. 363). Eine kurze Dissertation, die in eine Einleitung und 5 Kapitel, eine Ergänzung und einen Schluß geteilt ist; (sie beginnt: Lob sei Gott, der die Stufen errichtete u. s. w.) von *Schems el Dîn Muḥammad Ibn ʿÎsâ Ibn Aḥmed el Ṣûfi*. Er schrieb sie vom Monat *Ṣafar* des Jahres 943 (also etwa 20. Jun. 1536). Er behandelt in ihr die Art (Anbringung?) der Sanduhr (*Âlat el Sâʿa min el Raml*) auf der Flasche.

Ferner (Bd. 5, S. 251) *el Kawâkib el durrîja fi'l Binkâmât el daurîja*. (Die leuchtenden Sterne auf den periodischen [sich drehenden] Uhren) von dem großen Gelehrten *Taqî el Dîn Muḥammad*, dem Sohn des unter dem Namen *el Râṣid* (Beobachter, Astronom) bekannten Mannes (das Werk fängt an: „oh Du, der Du die Bewegungen und die Ruhe gegeben hast“ . . .), es ist in eine Einleitung und zwei Bücher geteilt.

mitgeteilten Verzeichnis der Werke von Archimedes geht ferner hervor, daß die Araber diesem ein Werk über Uhren, die Steine schleudern, zuschrieben.

In der Tat ist uns ein arabischer Traktat[1]) unter Archimedes' Namen erhalten. Sein Eingang lautet: „Lob sei Gott dem milden und barmherzigen! Archimedes hat, nachdem er Gott Ehr und Preis gespendet, gesagt: Nachdem ich gesehen, daß das, was die Menschen über die Behandlung der Wasseruhren geschrieben, unvollkommen und nicht gründlich ist, habe ich dies Buch geschrieben und es so gründlich wie möglich gemacht." — Es folgt dann eine ausführliche Besprechung einer Wasseruhr.

An der Uhr des Archimedes ist nach der Beschreibung von Carra de Vaux unter anderem charakteristisch, daß am Ende jeder Stunde ein Rabe[2]) eine Kugel aus seinem Schnabel in

[1]) Der Traktat findet sich handschriftlich in Paris und ist von Carra de Vaux (Journ. asiat. [ser. 8] Bd. 17, S. 295. 1891) ausführlich behandelt. Über die Arbeit von Carra de Vaux findet sich eine Besprechung bei Wittstein (Schlömilch, Z. S. Bd. 37, Suppl. S. 103. 1892). In dem Traktat von Archimedes wird neben den Wasseruhren (*Binkâmât*) noch eine speziell für astronomische Zwecke konstruierte Uhr (*Taǵâr*) besprochen. Erinnert sei noch daran, daß die Wasseruhren entweder für die 24 gleichen Stunden (*el mustawîâ* oder *el mu'addala* eines ganzen Tages, oder für die 12 ungleichen oder krummen Stunden (*el mu'awwaǵa* oder *el zamânija*) von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang eingerichtet sind (zu Wasseruhren vgl. auch Steinschneider, Math., S. 177).

[2]) Leider steht bei C. de Vaux nicht das arabische Wort für Rabe, so daß sich nicht ersehen läßt, ob eventuell wie bei *Riḍwân* ein Falke die Kugeln wirft. Im Anschluß an eine Publikation (H. Bulle, Z. S. des Münchener Altertumsvereins, Bd. 14 u. 15, S. 1. 1903/04) meines Kollegen Professor Dr. Bulle und Mitteilungen desselben sei auf folgendes hingewiesen:

Aelian berichtet im 3. Buche Nr. 13 seiner Tiergeschichten von den Kranichen:

„Wenn sie ermüdet sind und irgendwo Land antreffen, so ruhen die übrigen des Nachts aus und schlafen. Drei oder vier aber wachen für die anderen, und um die Wache nicht zu verschlafen, stehen sie auf einem Beine und halten in dem aufgehobenen Fuße einen Stein fest und vorsichtig mit den Krallen, damit, wenn ja der Schlaf sie beschleichen sollte, das Geräusch des fallenden Steines sie aufweckt."

Auf einer Gemme, die Bulle a. a. O. mitteilt, steht ein Kranich auf einem Bein und hält mit den Krallen des andern emporgezogenen einen Stein. — Ob diese Berichte und Darstellungen mit den bei Uhren sich findenden, die Steine schleudern, etwas zu tun haben, bedarf besonderer Untersuchung.

eine tiefer stehende Schale wirft, wodurch ein Ton entsteht. Daher kommt auch der Titel des betreffenden Werkes im Fihrist.

Die Abhandlung von Archimedes über die Uhren muß bei den Arabern ziemlich verbreitet gewesen sein, da auf sie oft verwiesen wird.

Bei *Anṣâri* S. 83 (s. o.) heißt es bei der Besprechung der Wissenschaft von den Wasseruhren: „Und das Werk des Archimedes über sie ist der Stützpfeiler". *El Ġazarî* (S. 231 und 260) erwähnt die Verteilung der Tierkreiszeichen auf einen Halbkreis nach Archimedes.

Riḍwân kommt öfters auf Archimedes zu sprechen. In der Einleitung heißt es (fol. 2ª):

Und von Euklid lernt man die Geometrie und von Aristoteles die Logik und die Naturwissenschaften, und von Ptolemaeus erhält man die Beobachtungswissenschaften, und ferner schrieb Archimedes über die Wissenschaft der Mechanik und der Uhren, und nicht war er damit allein zufrieden, sondern er wollte darüber hinaus.

Auf fol. 3ᵇ wird von den Uhren, die nach Archimedes konstruiert sind, gesprochen. Dann heißt es auf fol. 4ª: „Und was Archimedes neues ersonnen, ist nach dem Bericht, der zu uns gelangt ist, von den Gelehrten und den Büchern über diese Wasseruhren folgendes . . . (es werden verschiedene Teile der Uhren aufgezählt).

Ein ausführliches Werk über eine arabische Uhr enthält die S. 231 zitierte Handschrift in Gotha, die unter anderem eine vorzügliche Abbildung einer solchen gibt. Das Werk stammt etwa aus dem Jahre 1200 und enthält genaue Angaben über die Konstruktion dieser Uhr. Verfasser ist *Riḍwân Ibn Muḥammad Ibn ʿAlî el Churâsânî*, dessen Vater schon solche Uhren gebaut hat (vgl. S. 231).

Einen Titel hat das Werk an sich nicht. Frühere Besitzer haben es betitelt: Werk über die Konstruktion der geometrischen (mechanischen, *handasîja*) Uhren und Werk über die Konstruktion der Uhren und ihre Verwendung.

Die Schrift fängt an: „Praemissis praemittendis. Lob sei Gott für seine Gnade und Gebet und Gruß über unsern Herrn *Muḥammad* und seine Familie. Und ich habe, nachdem ich die Uhren gesehen, welche mein Vater ersonnen hatte u. s. w." *Riḍwân* erzählt dann, daß sein Vater schon eine solche Uhr

hergestellt habe, es ist dies, wie aus der S. 231 mitgeteilten Stelle aus *Ibn Abî Uṣaibi'a* hervorgeht, die Uhr an der großen Moschee zu Damaskus). Nach seinem Tode hätten die auftretenden Schäden von niemand, auch nicht von *el Muhaddab Ibn el Naqqâsch* (der Sohn des Malers), gehoben werden können; er selbst habe dies dann getan und seine Kunst in dem vorliegenden Werk niedergelegt.

Die ursprüngliche Uhr muß in der Mitte des 12. Jahrhunderts, die zweite Ende desselben konstruiert worden sein.

Über die erste Uhr an der Moschee zu Damaskus sind uns mehrere Berichte erhalten. Sie findet sich z. B. im Reisebericht von *Ibn Ǵubair*[1]) erwähnt, der etwa im Jahre 1173 in Damaskus war. Weiter berichtet uns Benjamin von Tudela im Kapitel 11 seines Reiseberichtes über die Uhr; er reiste zwischen 1159 und 1173, also etwa zur selben Zeit wie *Ibn Ǵubair*. Sein Bericht ist sehr knapp und nicht ohne weiteres verständlich.

Nach dem Bericht von *Ibn Ǵubair* sind an der Uhr zwei Falken, die nach Ablauf jeder Stunde Kugeln in Messingschalen werfen, ferner wird im Laufe des Tages von zwölf Türen, die ursprünglich geöffnet sind, nach je einer Stunde eine geschlossen. Während der Nacht wird nach jeder Stunde durch eine Lampe, die einen Kreis beschreibt, eine Kupferscheibe beleuchtet. — Ein Mann hat die Aufgabe, die Türen wieder zu öffnen und die Kugeln wieder an Ort und Stelle zu bringen.

In dem Werke von *el Ǵazarî* (vgl. S. 231) ist der erste Teil der Beschreibung einer Uhr gewidmet.

In der Inhaltsübersicht heißt es:

Erste Gattung (*el Nau'*). Über die Konstruktion der Wasseruhren (*Binâkîm* und *Finâkîn*)[2]), durch die man den Gang der gleichmäßigen und der zeitlichen Stunden kennen

[1]) The travels of *Ibn Ǵubair* ed. W. Wright, Leyden 1852, S. 271. Seinen Bericht hat *el Maqqarî* (arabisch), Bd. 2, S. 718 wiedergegeben. Eine französische Übersetzung hat S. de Sacy mitgeteilt, die aber nicht sehr wörtlich ist (sie ist abgedruckt bei A. Le Bon, La civilisation arabe, Paris 1884, S. 510). *Ibn Ǵnbair's* Leben bespricht sehr ausführlich Gayangos, The history of the mohammedan Dynasties in Spain, Bd. 2, S. 400. London 1843.

[2]) So steht in dem Kodex 1025. In dem Kodex 1026 steht „über die Konstruktion von *Binâkim* und man sagt auch *Finâkin*." *Riḍwân* hat die Form *Binkân*. Sehr häufig kommt die Form *Binkâm* vor.

lernt in 10 Propositionen. Dann heißt es noch einmal: Erste Gattung. Über die Konstruktion der *Finâkîn*, durch die man den Lauf der gleichmäßigen und der zeitlichen Stunden kennen lernt mittels des Wassers und der Kerze.

Erster Abschnitt [der ersten Proposition der ersten Gattung]. „Er enthält die Einleitung, ihre Besprechung ist hier nötig. Auf sie folgt die Beschreibung des äußeren Aussehens des Bildes (d. h. der äußeren Erscheinung der Uhr), durch die man den Gang der zeitlichen Stunden kennen lernt. Ich bin den Weg des vortrefflichen Archimedes in der Verteilung der 12 Tierkreiszeichen auf einen halben Kreis gefolgt u. s. w.“

Die Uhr weist, soweit ich sehen konnte, viele Ähnlichkeiten mit derjenigen von Damaskus auf; als *el Ġazarî* sein Werk schrieb, war die letztere ja auch schon vorhanden, und als einem Mesopotamier (*el Gazarî*) lag ihm Syrien nahe. Der kugelwerfende Vogel heißt bei ihm wie bei *Ibn Ġubair Bâz* (Falke), in der Abbildung hat er auch einen krummen Schnabel.

Entspricht aber wirklich die Beschreibung von *el Gazarî* der Uhr von Damaskus, so hat die Gesamtansicht, die das Werk enthält, einen doppelten Wert, falls sie naturwahr ist.

Es seien noch einige Bemerkungen über *el Gazarî's* Werk beigefügt (vgl. auch S. 231).

Über das Werk von *el Ġazarî* heißt es bei *H. Chalfa* Bd. 5, S. 48: Werk über die pneumatischen Instrumente (*Kitâb el Alât el rûḥânîja*) von dem Unvergleichlichen der Zeit (*Badî el Zamân Abû l'Azîz* (nicht *'Izz*) *Ibn Ismâ'îl Ibn el Razzâz el Ġazarî*, welcher es für den Urtuqiden *Qara Arslan*[1]) (türkisch, heißt schwarzer Löwe) schrieb. Er teilte es in 6 Gattungen ein: 1. Über die Uhren. 2. Über die wunderbaren Gefäße. 3. Über die pfeifenden Instrumente. 4. Über die Instrumente, welche dazu dienen, Wasser aus tiefen Orten hervorzuholen. 5. Über Krüge und Becken (Becher) (*Ṭascht*). 6. Über einige Gestalten und Figuren.

Das Werk beginnt: Lob sei Gott,, der neu sein Werk an

[1]) Nach H. Ch. ist das Werk einem Qara Arslan, nach der Vorrede selbst jedoch wie der Leidener Katalog angibt, dem Enkel eines solchen gewidmet; der Großvater müßte im 12. Jahrhundert gelebt haben. Ein Urtuqide Qara Arslan regierte zu Mârdîn 1260—92.

den himmlischen Körpern hervorbringt[1]) u. s. w. Es ist von einem Manne für den Sultan *Selim Chan* ins Türkische übersetzt worden.

Nach den Handschriften ist folgendes der Inhalt der Werke von *el Ġazarî.*

1. Über die Konstruktion der Wasseruhren, durch die man den Ablauf der gleichmäßigen und zeitlichen Stunden kennen lernt (in 10 Propositionen). 2. Über die Konstruktion der Gefäße und Formen, die zu Weingelagen geeignet sind (in 10 Propositionen). 3. Über die Konstruktion der Krüge und Becher (Becken) (*Ṭisâs*) zum Aderlassen und zur Waschung (in 10 Propositionen). 4. Über die Konstruktion der Flaschen (Gefäße s. u.) auf einem Knie, die ihre Lage wechseln, und das Instrument der ewigen (nie aufhörenden) Flöte (in 10 Propositionen). 5. Über die Konstruktion der Instrumente, welche das Wasser heben aus einer großen Masse und einem Brunnen, der nicht tief ist, und aus einem fließenden Flusse (in 5 Propositionen). 6. Über die Konstruktion verschiedener Figuren, die ihm nicht ähnlich sind (in 5 Propositionen).

Die Reihenfolge ist nach den Handschriften und nach *H. Chalfa* nicht ganz die gleiche.

el Ġazarî waren bei seinen Arbeiten auch die Schriften der *Benû Mûsà* bekannt. Am Anfang der vierten Gattung heißt es nämlich: „Über die Gefäße, welche ihre Lagen in bekannten Zeiten wechseln, und Konstruktion der ewigen Flöte. In diesem bin ich nicht den *Benû Mûsà* gefolgt."

Diese Gefäße, welche ihre Lage in bekannten Zeiten wechseln, sind an den beiden Enden a und b nach unten umgebogene Röhren, die um eine in der Mitte befindliche Axe (das Knie) sich um einen kleinen Winkel drehen können. In der Mitte fließt durch einen Ansatz von oben Wasser in das Rohr, das aus a oder b ausfließt. Durch besondere Vorrichtungen wird nach einer bestimmten Zeit, wenn ursprünglich das Rohr a tiefer stand, dieses gehoben und b wird jetzt tiefer als a. Das aus a oder b austretende Wasser fließt in je einen Windkessel, auf die Pfeifen aufgesetzt sind. Ist der Windkessel

[1]) Der Anfang stimmt mit dem Anfang in den Handschriften überein; diese fahren dann fort: „und der die Geheimnisse seiner Weisheit in den irdischen Dingen niederlegte".

voll, so wird er durch einen Heber ausgehebert. Das Umkippen wird so reguliert, daß stets eine der Pfeifen pfeift.

Außer bei der Behandlung der Konstruktion der Uhren im Anschluß an Archimedes etc. behandelt *el Ġazarî* dieselben noch einmal im letzten Abschnitt seines Werkes. Ein Abschnitt hat die Überschrift „Das ist der Kahn (*el Zauraq*), durch den man den Ablauf gleichmäßiger Stunden kennen lernt.“ (Eine Figur gibt einen Mann in einem Boot wieder.)

Eine weitere Art Uhr, nämlich 2 Wasserbecken (*Bîla*)[1]), in denen je nach dem Mondwechsel das Wasser sank oder stieg, hat *el Maqqarî*[2]) beschrieben. Sie befanden sich in Toledo.

In dem Werk von *Maqqarî* wird als Verfertiger dieser Uhr *ʿAbd el Raḥmân* angegeben, während Gayangos[3]) in seiner Übersetzung ihn *Abu'l Qâsim Ibn ʿAbd el Raḥmân* mit dem Beinamen *el Zarqâlî* nennt, diesen hätte er mit dem berühmten Astronomen gemeinsam. Letzterer heißt *Ibrahîm Ibn Jahjà el Naqqâš Abû Isḥaq el Zarqâlî.*

An dieser Stelle des *Maqqarî* heißt es, daß *ʿAbd el Raḥmân* diese Anordnung konstruiert habe, als er die Erzählung von einem Talisman [wohl einem Götzenbild] gehört hatte, das sich in der Stadt *Uzain*[4]) im Lande Indien befand; von ihm hat *el Masʿûdî* berichtet und zwar, daß es mit seinem Finger eine Drehbewegung ausführte vom Aufgang (Erscheinen) der Morgenröte (*Faġr*) bis zum Untergang der Sonne.

Über die Kuppel (*Qubba*) von *Arîn* (*Uzain*), die bei geographischen Ortsbestimmungen eine Rolle spielt, hat sehr ausführlich L. Am. Sédillot (Paris 1842) gehandelt. Er erwähnt aber nicht den Talisman. Weder bei *Jâqût* noch in der Bibliotheca Geogr. Arab. habe ich *Arîn* oder *Uzain* gefunden. Diese Qubba ist die Mitte der

[1]) Zu dem Wort vgl. Dozy Suppl., Bd. 1, S. 137.

[2]) *el Maqqarî* Analectes sur l'histoire et la littérature des Arabes en Espagne, Bd. 1, S. 621. Leyden 1855/60.

[3]) *el Maqqarî* etc., Translated by Gayangos Bd. 1, S. 81. London 1840. Zu beachten ist, daß Gayangos häufig statt der Übersetzung eine Bearbeitung gibt. Die betreffende Stelle aus der Übersetzung ist auch bei E. A. Sédillot, Prolégomènes des tables etc., Bd. 1, S. LXXXI. Paris 1847 abgedruckt.

[4]) Gayangos hat *Arin*, wie die von den Herausgeber des *Maqqarî* benutzte Handschrift. Es muß aber nach ihnen heißen *Uzain*.

Erde, sie liegt auf dem Längengrad, der in der Mitte zwischen der östlichsten und westlichsten bewohnten Erde sich befindet, und auf dem Äquator (vgl. *Mafâtîḥ el ʿUlûm* S. 218). — Die Qubba wird von *Masʿûdî* in seinen Goldwäschereien, wie schon Sédillot nach einer Handschrift angibt, erwähnt; die Stelle steht in der Ausgabe von C. Barbier de Meynard, Bd. 1, S. 181.

Mit den oben erwähnten Uhren zeigt diejenige, welche nach Einhard's Bericht[1]) der Chalife *Hârûn al Raschîd* im Jahre 807 Karl dem Großen geschickt hat, mancherlei Ähnlichkeiten.

Von *Taqî el Dîn* sind Werke über die Uhren erhalten: Über die Wissenschaft von den Uhren (*el Binkâmât*). Paris 2478 und Werk über das Ergötzen beim Zeichnen der Stunden etc. Bodleiana cod. 881. Katalog von Uri Bd. 1, S. 191.

---

[1]) Auch ein höchst kunstvoll aus Messing (auricalcum) gearbeitetes Uhrwerk (horologium) war dabei, in dem der Lauf der 12 Stunden nach einer Wasseruhr (clepsidra) sich bewegte mit ebensoviel ehernen Kügelchen (aerea pilula), die nach Ablauf der Stunden herunterfielen und dadurch ein darunter liegendes Becken (cinbalum) erklingen machten, ferner waren darin 12 Reiter, die am Ende der Stunden aus 12 Fenstern herauskamen und durch ihre Bewegung ebensoviele zuvor verschlossene Fenster aufmachten; noch vieles andere befand sich in dieser Uhr, was jetzt aufzuzählen zu weitläufig wäre. (Einhardi, Annales ed. G. H. Pertz, S. 53/54. Hannover 1845. — Einhard, Jahrbücher, übersetzt von O. Abel, S. 108/109. Berlin 1850.)

Ein elektrisches Ventilrohr[1].

Von A. Wehnelt.

Eingereicht am 14. Oktober 1905.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Im Verlaufe eines Vortrages[2]) „über die Aussendung negativer Ionen durch glühende Metallverbindungen", gehalten auf der 76. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Breslau (1904), führte ich ein elektrisches Ventilrohr vor, welches zur Umformung von Ein- oder Mehrphasenwechselströmen, d. h. also elektrischen Schwingungen in pulsierenden Gleichstrom diente, ähnlich wie dies die auf anderen Grundsätzen beruhenden Umformer von Hewitt (Quecksilberdampfumformer) und von Grätz (Aluminiumgleichrichtezellen) tun. Eine eingehende Beschreibung der Versuche mit dem Ventilrohr hatte ich bisher nicht gegeben, da ich zunächst eine Reihe von glastechnischen Schwierigkeiten überwinden wollte, um die von mir im Laboratorium vielfach verwendeten Röhren nicht in unvollkommener Form der Technik zugänglich zu machen. Da diese Schwierigkeiten nun behoben sind, so gebe ich jetzt einen kurzen Auszug aus der demnächst in der Elektrotechnischen Zeitschrift erscheinenden ausführlichen Arbeit.

Das Ventilrohr. In einer Reihe von Abhandlungen[3])

---

[1]) D.R.P. Nr. 157845 vom 15. Januar 1904. [Das alleinige Recht zur Herstellung der Röhren habe ich der Firma E. Gundelach, Gehlberg in Thüringen übertragen.]

[2]) A. Wehnelt, Physik. Zeitschr. 5, S. 680—681. 1904.

[3]) A. Wehnelt, Sitzungsber. d. Phys.-med. Soz. Erlangen S. 150 bis 158. 1903 — Ann. d. Phys. (4) 14, S. 425—468. 1904 — Phys. Zeitschr. 5, S. 680—681. 1904 — Phil. Mag. (6) 10, S. 80—90. 1905 — Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unter. 18, S. 193—198. 1905.

habe ich gezeigt, daß einige Oxyde, besonders diejenigen des Baryums, Strontiums und Kalziums im glühenden Zustande zahlreiche negative Ionen aussenden, und daß sie deshalb als Kathoden in Entladungsröhren verwendet den Kathodenfall der Glimmentladung stark herabsetzen bezw. gänzlich aufheben.

In dem Ventilrohr wird nun diese Eigenschaft der Oxyde, im glühenden Zustande unter geeigneten Versuchsbedingungen so gut wie keinen Kathodenfall zu besitzen, benutzt. Dasselbe enthält als Kathode ein Blech aus irgend einem schwer schmelzbaren Leiter (z. B. von Metallen, Platin, Iridium, Tantal u. s. w.), das in irgend einer Weise erhitzt werden kann und mit Metalloxyd bezw. Metalloxydmischungen überzogen ist. Als Anoden dienen je nach dem Zwecke, dem das Rohr dienen soll, ein oder mehrere starke Elektroden aus irgend einem Leiter.

Wird die Kathode des sehr weit evakuierten Rohres auf hohe Temperatur erhitzt, und verbindet man eine der Anoden mit dem positiven, die glühende Metalloxydelektrode mit dem negativen Pole einer Gleichstromquelle, so beträgt das Entladungspotential des Ventilrohres nur zirka 18—20 Volt bis zu Stromstärken, die durch die Größe der Oberfläche und die Temperatur der glühenden Oxydelektrode gegeben sind. Wie ich an anderer Stelle mitgeteilt habe, kann bei hohen Temperaturen, die durch die Flächeneinheit (1 cm²) der glühenden Oxydkathode hindurchgehende Stromstärke, also die Stromdichte, 2 bis 3 Ampère betragen, ohne daß ein Kathodenfall auftritt. Die äußerste Stromdichte, bis zu welcher kein Potentialfall an der Kathode eintritt, nannte ich Grenzstromdichte[1]). Wird diese überschritten, so tritt ein mit wachsender Stromstärke schnell ansteigender Kathodenfall auf. Die Grenzstromdichte für jede Temperatur ist bestimmt durch die bei dieser Temperatur ausgesandte Zahl von negativen Ionen.

Wählt man die Stromstärke im Rohre so, daß an der Kathode kein Kathodenfall vorhanden ist, so hat der Strom nur den Anodenfall und den Fall auf der positiven Säule zu überwinden. Wie besondere Messungen zeigten, ist der Anodenfall unabhängig von der Stromstärke und je nach Wahl und Reinheit der benutzten Metalle 18—20 Volt; ferner ist der Fall auf

---

[1]) A. Wehnelt, Ann. p. Phys. (4) 14, S. 447—449. 1904.

der positiven Säule bei sehr tiefen Drucken und großen Stromstärken sehr gering (zwischen 1 und 2 Volt), so daß er bei sehr geringem Abstande zwischen Anode und Kathode keine merkliche Rolle spielt. Aus dem eben Gesagten ergibt sich das geringe Entladungspotential des Rohres, wenn der Strom in Richtung von der kalten zur heißen Elektrode übergeht.

Kehrt man die Stromrichtung um, so daß die kalte Elektrode zur Kathode wird, so ist das Entladungspotential des Rohres für diese Stromrichtung sehr groß, da schon der normale Kathodenfall zirka 300 Volt beträgt. Da das Rohr aber sehr weit evakuiert ist, so beträgt der Kathodenfall an den kalten Elektroden viele tausend Volt.

Sendet man daher durch das Ventilrohr elektrische Schwingungen von irgend welcher Herkunft, so läßt das Rohr nur die Phase des Stromes durch, bei der die glühende Oxydelektrode Kathode ist, die andere Phase hingegen nicht, so lange die Spannung der Schwingungen unterhalb des Kathodenfalles an der kalten Elektrode liegt, d. h. das Rohr verhält sich dem elektrischen Strome gegenüber wie ein Ventil.

Wirkungsgrad des Ventilrohres. Verbindet man die Klemmen des Ventilrohres mit einer Stromquelle, deren Spannung sinusartig verläuft (elektrischer Schwingungskreis, Wechselstrommaschine etc.), so sind die Vorgänge im Stromkreise einer Berechnung zugänglich.

Es sei $e = E \sin 2\pi \frac{t}{T}$ die Gleichung der elektrischen Schwingung, worin e der Momentanwert und E die Amplitude der Spannung und T die Periode der Schwingung ist. Es sei ferner W der induktions- und kapazitätsfreie Widerstand des Stromkreises, V das unter den oben beschriebenen Umständen konstante Entladungspotential des Ventilrohres, dann ist die Stromstärke zur Zeit t

$$i = \frac{e - V}{W} = \frac{1}{W}\left(E \sin 2\pi \frac{t}{T} - V\right).$$

Aus diesem Werte läßt sich durch Integration sowohl die effektive Stromstärke, als auch die mittlere Stromstärke berechnen. Da letztere hauptsächlich für unsere Zwecke in Betracht kommt (z. B. bei der Ladung von Akkumulatoren), so möge nur sie hier berechnet werden.

Unter mittlerer Stromstärke $\bar{J}$ in einem Zeitraume T versteht man diejenige, die mit T multipliziert die gesamte während der Zeit T bewegte Elektrizitätsmenge Q gibt.

Es ist also

$$\bar{J} = \frac{Q}{T}$$

wobei Q die in einer Periode den Stromkreis durchströmende Elektrizitätsmenge und T die Dauer einer Periode bedeuten möge.

Nun ist

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt$$

also, wenn man für i den oben gefundenen Wert einsetzt,

$$\bar{J} = \frac{1}{W\,T} \int_{t_1}^{t_2} (E \sin 2\pi \frac{t}{T} - V)\, dt.$$

Die Grenzen t_1 und t_2 sind folgendermaßen zu ermitteln. Zur Zeit $t = 0$ beginnt die Spannung zu wachsen von $e = 0$ an. Solange e kleiner ist als das Entladungspotential V des Rohres, fließt kein Strom im Stromkreise; von da an setzt der Strom ein und fließt solange, bis e wieder $= V$ geworden ist. Von da ab geht während des übrigen Teiles der Periode kein Strom mehr durch das Rohr. Die Grenzen t_1 und t_2 sind demgemäß zu ermitteln aus

$$e = V = E \sin 2\pi \frac{t_1}{T} = E \sin 2\pi \frac{t_2}{T}$$

$$\text{wobei } t_2 = \frac{T}{2} - t_1.$$

Dient der pulsierende Strom zur Ladung einer Akkumulatorenbatterie von der mittleren Klemmenspannung P, so ist die mittlere Stromstärke

$$\bar{J} = \frac{1}{W\,T} \int_{t_1}^{t_2} (E \sin 2\pi \frac{t}{T} - V - P)\, dt.$$

Als Nutzeffekt η würde in diesem Falle gelten

$$\eta = \frac{\text{Mittlere Stromstärke} \times \text{Batteriespannung}}{\text{gesammten Energieverbrauch}}.$$

Der gesamte Energieverbrauch der Wechselstromquelle einschließlich der Energie zur Erhitzung der Metalloxydelektrode ist mit einem Wattmeter zu bestimmen. Der Nutzeffekt hat sich, worüber an anderer Stelle berichtet werden soll, als recht zufriedenstellend erwiesen.

Anwendungen des Ventilrohres. Das Ventilrohr habe ich bisher unter anderem in folgenden Fällen mit großem Erfolg angewandt.

1. Zur Ladung von Akkumulatoren mit Einphasenstrom. Das Ventilrohr ist hierzu bequemer als der Umformer von Hewitt, der einer besonderen Zündung bedarf, um bei Einphasenstrom im Betriebe zu bleiben. Durch Parallelschaltung beliebig vieler Röhren können beliebig große Akkumulatorenbatterien von einer Wechselstromquelle aus geladen werden.

2. Zur Ladung von Akkumulatoren und zum Betriebe von Gleichstrombogenlampen mit Drehstrom[1]). Man benützt zu diesem Zweck ein Rohr mit drei kalten Metallelektroden und einer glühenden Oxydelektrode, verbindet erstere mit den drei Enden eines in Sternschaltung geschalteten Drehstromtransformators, letztere mit dem Knotenpunkte desselben.

3. Zur Ladung von Hochspannungsakkumulatorenbatterien mit einem Hochspannungstransformator oder dem Induktorium. Um die zweite Phase des Transformators bezw. die Schließungsströme des Induktoriums möglichst vollkommen zu unterdrücken, umgibt man die Metallanoden mit Glasröhren[2]), so daß der Kathodenfall an ihnen sehr hohe Werte erreicht. Über verschiedene Schaltungen zur Ausnutzung beider Stromphasen verweise ich auf die ausführliche Mitteilung.

4. Zur Trennung der Schließungs- und Öffnungsströme bei Induktorien, sowohl für die gewöhnlichen elektromedizinischen Zwecke, als auch im besonderen beim Betriebe von Röntgenröhren mit großen Induktorien.

5. Zum Betriebe von großen Induktorien mit dem elektrolytischen Unterbrecher durch Wechselstrom. Man schaltet in den Wechselstromkreis die Primärspule des Induktoriums den elektrolytischen Unterbrecher und das Ventil-

---

[1]) Bei Zweiphasenstrom muß man entsprechend 2 Anoden benutzen.

[2]) vgl. A. Wehnelt, Ann. d. Phys. (3) 65, S. 511—542. 1898.

rohr. Durch geeignete Schaltungen kann man auch beide Phasen des Wechselstromes ausnutzen. Der Unterbrecher arbeitet hierbei so gut, wie mit Gleichstrom, ohne die beim Betriebe mit Wechselstrom auftretende Abnutzung der Anode zu zeigen.

6. Als Empfänger bei der drahtlosen Telegraphie. Da die Wirksamkeit des Ventilrohres nicht von der Wechselzahl abhängt, so werden auch von den schnellsten Wechselströmen, d. h. den elektrischen Wellen, stets nur die einen Phasen hindurchgelassen. Schaltet man daher in einen Empfängerkreis, der von Schwingungen getroffen wird, ein Ventilrohr und ein Galvanometer, so zeigt das Galvanometer einen Ausschlag an, es geht also ein Strom durch dasselbe. Man kann hierbei die Galvanometerausschläge entsprechend verstärken, wenn man beide Phasen ausnützt. Man erreicht dies, indem man zwei Ventilröhren parallel schaltet, aber so, daß sie entgegengesetzte Phasen hindurchlassen; die durch jedes Rohr fließenden pulsierenden Ströme sendet man je durch eine Spule eines Differentialgalvanometers in solcher Richtung, daß sich ihre Wirkungen summieren.

Erlangen, Physikal. Institut der Universität, September 1905.

Das Atomgewicht des Tellurs.

Von A. Gutbier.

Aus dem chemischen Laboratorium der Universität Erlangen.

Einleitung.

Nachdem das Atomgewicht des Jods, dessen Neubestimmung durch die Arbeit von A. Ladenburg[1]) notwendig geworden war, durch die Untersuchungen von P. Köthner und E. Aeuer[2]), sowie von G. P. Baxter[3]) erneut und sehr exakt festgelegt worden ist, kann kein Zweifel mehr darüber bestehen, daß das Atomgewicht des reinen Jods erheblich niedriger ist als dasjenige des nach den bisher bekannt gewordenen Untersuchungen für rein zu haltenden Tellurs.

Sämtliche einschlägigen Arbeiten lassen ja erkennen, daß dem auf mehrfache sorgfältige Art und Weise gereinigten Tellur mit größter Wahrscheinlichkeit das Atomgewicht 127,6 zukommt[4]).

In der folgenden Tabelle habe ich die Resultate der zahlreichen, bisher veröffentlichten Untersuchungen über das Atomgewicht des Tellurs unter Angabe der von den einzelnen Forschern angewandten verschiedenen Bestimmungsmethoden zusammengestellt und auch die bisher unbeachtet gebliebene Arbeit von Kuno Heberlein[5]), auf welche man erst durch eine Mitteilung B. Brauners[6]) aufmerksam geworden ist, mit berücksichtigen können.

---

[1]) Ber. deutsch. chem. Ges. 35 (1902), 2275.

[2]) Lieb. Ann. 337 (1904), 1 und 362.

[3]) Proc. of the Americ. Acad. of Arts and Sc. 50, 8 und Zeitschr. f. anorg. Chem. 43 (1905), 14.

[4]) Vgl. Notiz über das wahrscheinliche Atomgewicht des Tellurs und über Atomgewichtsrechnungen überhaupt. P. Köthner (Zeitschr. f. anorg. Chem. 34 [1903], 403) und K. Seubert (Zeitschr. f. anorg. Chem. 35 [1903], 205).

[5]) Inaug.-Dissert. Basel 1898.

[6]) Zeitschr. f. anorg. Chem. 31 (1902), 375.

Name	Bestimmungsart	Atomgewicht
Berzelius[1])	Oxydation von Te zu TeO_2 durch HNO_3	128,3
v. Hauer[2])	Analyse des K_2TeBr_6	127,8
W. L. Wills[3])	a) Oxydation von Te zu TeO_2 durch HNO_3	128,1
	b) Oxydation von Te zu TeO_2 durch $HNO_3 + HCl$	128,2
	c) Analyse des K_2TeBr_6	127,2
B. Brauner[4])	a) Oxydation von Te zu TeO_2 durch HNO_3	125,7
	b) Oxydation von Te zu TeO_2 durch $HNO_3 + HCl$	125,7
	c) Reduktion von TeO_2 zu Te durch SO_2	127,5
	d) Titrimetrische Bestimmung des Br-Gehaltes im $TeBr_4$	127,71
L. Staudenmaier[5])	a) Reduktion von H_6TeO_6 durch H	127,15
	b) Reduktion von TeO_2 durch H	127,6
	c) Überführung von H_6TeO_6 in TeO_2	127,15
Norris, Fay und Edgerly[6])	Analyse des basischen Tellurnitrats	127,6
M. Chikashigé[7])	Analyse des $TeBr_4$	127,6
R. Metzner[8])	Synthese des Tellursulfates und Reduktion von TeO_2 zu Te durch CO	127,9
O. Steiner[9])	Elementaranalyse des Diphenyltellurides	126,4
G. Pellini[10])	a) Oxydation von Te zu TeO_2 durch HNO_3	127,65
	b) Reduktion von TeO_2 zu Te durch H	127,62
P. Köthner[11])	Überführung von $(TeO_2)_2HNO_3$ in TeO_2	127,6
A. Gutbier[12])	a) H_2O-Bestimmung der H_6TeO_6	127,65
	b) Reduktion von H_6TeO_6	127,34
	c) Reduktion von TeO_2 durch $NH_2 \cdot NH_2 \cdot H_2O$	127,55
A. Scott[13])	Analyse des Trimethyltellurjodides und -bromides	127,7
K. Heberlein[14])	a) Jodometrische Bestimmung der H_6TeO_6	127,24
	b) Überführung von H_6TeO_6 in TeO_2	126,72
	c) Reduktion von TeO_2 zu Te durch H	126,995

[1]) Schw. J. 22, 74. Pog. Ann. 8, 24; 28, 395 und 32, 14.
[2]) Sitzungsber. Wien. Akad. 25, 135; J. prakt. Chem. 73 (1858), 98.
[3]) Journ. chem. Soc. 35, 704.
[4]) Monatsh. f. Chem. 10, 411; Journ. chem. Soc. 55, 361; 67, 549 und 615.
[5]) Zeitschr. f. anorg. Chem. 10 (1895), 189.
[6]) Americ. chem. Journ. 23, 105.
[7]) Journ. chem. Soc. 69, 881; Chem. News 75, 175.
[8]) Compt. rend. 126, 1716.
[9]) Ber. deutsch. chem. Ges. 34 (1901), 570.
[10]) Ber. deutsch. chem. Ges. 34 (1901), 3807.
[11]) Lieb. Ann. 319 (1901), 1.
[12]) Lieb. Ann. 320 (1902), 52.
[13]) Proc. chem. Soc. 18, 112.
[14]) Inaug.-Dissert. Basel 1898.

Angesichts der aus dieser Tabelle sich ergebenden Tatsachen[1]) kann man allerdings leicht dazu bewogen werden, entweder die Gültigkeit des periodischen Systemes der Elemente in seiner bisher allgemein üblichen Fassung anzuzweifeln und das Tellur, wie H. Erdmann[2]) vorgeschlagen hat, hinter das Jod unter die Metalle der Platingruppe einzureihen, oder aber die Einheitlichkeit des Tellurs in Frage zu stellen, was ja auch schon und zwar zuerst von B. Brauner[3]) geschehen ist.

Da eine Entscheidung über diese, für die anorganische Chemie so überaus wichtige Frage nur durch das Experiment getroffen werden kann, habe ich eine Neubestimmung des Atomgewichtes ausgeführt und zu diesem Zwecke reinstes Tellur vom Atomgewichte 127,6 einer bisher noch nicht in Anwendung gebrachten Reinigungsmethode unterworfen.

Über die Ausführung dieser Untersuchung, welche bereits gegen Ende des Jahres 1903 abgeschlossen wurde[4]), und über die dabei erhaltenen Resultate zu berichten, ist der Zweck der folgenden Zeilen[5]).

1. Über die zur Reinigung des Tellurmateriales angewandten Methoden.

Experimentell mitbearbeitet von W. Wagenknecht[6]).

Der Hauptwert der in den letzten Jahren ausgeführten Experimentaluntersuchungen über das Atomgewicht des Tellurs beruht nicht allein auf der Verfeinerung der Analysenmethoden, sondern auch mit darauf, daß jeder einzelne Forscher bestrebt

---

[1]) Daß dem von O. Steiner (Ber. deutsch. chem. Ges. 34 [1901], 570) aufgestellten Werte keine Bedeutung zugesprochen werden darf, haben besonders P. Köthner (Lieb. Ann. 319 [1901], 1) und ich (Lieb. Ann. 320, 52) betont; die Untersuchuug von K. Heberlein (Inaug.-Dissert. Basel 1898) werde ich in dieser Arbeit besprechen.

[2]) Erdmann, Lehrb. d. anorg. Chemie. 3. Aufl. (1902), S. 721 u. 726.

[3]) Monatsh. f. Chem. 10, 411.

[4]) Vgl. Sitzungsberichte der chemischen Gesellschaft zu Erlangen. Chemiker-Zeitung 1904.

[5]) Ein kurzer Auszug aus dieser Arbeit erscheint in Lieb. Ann. 1905.

[6]) Vgl. dessen Inaug.-Dissert.

war, neue und exakte Methoden zur Reinigung des Elementes aufzufinden.

B. Brauner[1]) schmolz das durch Reduktion mittels Schwefeldioxyd gefällte Tellur mit Cyankalium zusammen und leitete durch die wässerige Lösung dieser Schmelze, d. h. des Kaliumtellurides, reine Luft; auf diese Weise fällte er das Tellur in kristallinischem Zustande aus und schmolz es schließlich vor der Verwendung noch in einem reinen Strom von Wasserstoff um.

L. Staudenmaier[2]) reinigte sein Ausgangsmaterial zunächst ebenfalls durch Reduktion mittels Schwefeldioxyd und führte es dann nach einer neuen vortrefflichen Methode in die Tellursäure über.

O. Steiner[3]) verwandelte sein Tellurmaterial in das von Krafft und Lyons[4]) entdeckte Diphenyltellurid, während G. Pellini[5]) das nach B. Brauner[6]) gereinigte Tellur in Diphenyltelluriddibromid überführte, letzteres durch Schmelzen mit Soda und Salpeter zu Tellurdioxyd oxydierte und aus diesem das Tellur durch Schwefeldioxyd abschied, um es nun noch im Wasserstoffstrome und schließlich im Vakuum zu destillieren.

P. Köthner[7]) destillierte das durch Reduktion mittels Schwefeldioxyd gefällte Tellur im Vakuum und führte es dann in das von Klein und Morel[8]) entdeckte basische Tellurnitrat über; er war in der glücklichen Lage, die Reinheit seiner Tellurpräparate auf spektralanalytischem Wege kontrollieren zu können.

Ich habe früher[9]) das von L. Staudenmaier[10]) beschriebene Verfahren benutzt, während A. Scott[11]) endlich sein Material

---

[1]) Monatsh. f. Chem. 10, 411.
[2]) Zeitschr. f. anorg. Chem. 10 (1895), 189.
[3]) Ber. deutsch. chem. Ges. 34 (1901), 570.
[4]) Ber. deutsch. chem. Ges. 27 (1894), 1769.
[5]) Ber. deutsch. chem. Ges. 34 (1901), 3807.
[6]) Monatsh. f. Chem. 10, 411.
[7]) Lieb. Ann. 319 (1901), 1.
[8]) Compt. rend. 99 (1884), 326; 100 (1885), 1140; Bull. soc. chim. Paris 43 (1885), 198.
[9]) Lieb. Ann. 320 (1902), 52.
[10]) Zeitschr. f. anorg. Chem. 10 (1895), 189.
[11]) Proc. chem. Soc. 18, 112.

in Tetramethyltellurjodid überführte und letzteres zur weiteren Reinigung in das entsprechende Bromderivat verwandelte.

Wie sehr verschieden auch die einzelnen Methoden waren, so ergab sich doch nur immer wieder die eine, äußerst wichtige Tatsache: das über organische Verbindungen gereinigte und dann im Vakuum destillierte Tellur besitzt das gleiche Atomgewicht, wie dasjenige Tellur, welches nach der Destillation im Vakuum in einfache, salzartige Verbindungen übergeführt wurde!

Zu den vorliegenden neuen Atomgewichtsbestimmungen verwandte ich als Ausgangsmaterial zuerst wieder ungarisches Rohtellur von Selmeczbánya, über dessen Zusammensetzung ich bereits mit F. Flury[1]) berichtet habe; später bezog ich, da laut Mitteilung der Königlichen Hüttenverwaltung in Selmeczbánya Tellur nicht mehr verarbeitet wird, ein relativ reines Produkt von Dr. Theodor Schuchardt in Görlitz und zwar ein Material, das neben Antimon, Kupfer und Eisen durchschnittlich 95,1 % Tellur enthielt.

Zunächst wurde das Ausgangsmaterial dadurch einer vorläufigen Reinigung unterzogen, daß es in möglichst wenig Königswasser gelöst, die Lösung durch Abrauchen mit Salzsäure von der Salpetersäure befreit und der verbleibende Rückstand in Salzsäure gelöst wurde; das aus der filtrierten Lösung durch Schwefeldioxyd abgeschiedene Tellur wurde ausgewaschen und bei niederer Temperatur getrocknet.

Die zu der Untersuchung ausschließlich benützte Salzsäure war in der Weise gewonnen worden, daß in reinstes Wasser unter Kühlung Chlorwasserstoffgas eingeleitet wurde, gewonnen durch Erhitzen der reinsten, konzentrierten und arsenfreien Salzsäure des Handels; da die Säure stets kurz vor dem Gebrauche frisch dargestellt wurde, waren Verunreinigungen ausgeschlossen.

Die ebenfalls ausschließlich zur Verwendung gelangte Salpetersäure wurde durch Destillation der reinsten Handelssäure aus Platinretorten gewonnen, und zwar wurde die Säure so oft destilliert, bis eine Probe, mit dem zehnfachen Volumen Wasser verdünnt, nicht mehr die geringsten nachweisbaren Spuren von Eisen oder Chlor enthielt; in den meisten Fällen war die Säure, welche schon vor der Destillation kaum eine Reaktion

[1]) Zeitschr. f. anorg. Chem. 32 (1902), 34.

auf Chlor und Eisen zeigte, schon nach der ersten fraktionierten Destillation absolut rein, sie wurde aber zur Sicherheit dann mindestens noch einmal destilliert, wobei natürlich immer nur das zweite Drittel des Destillates gesondert aufgefangen und weiter verarbeitet wurde.

Das ausschließlich verwendete Wasser wurde aus dem mit chemisch reinem Ätzkalk behandelten und dann mit Kaliumpermanganat versetzten destillierten Wasser des Laboratoriums nach den für die Bestimmung der Leitfähigkeit üblichen Methoden destilliert.

Das vollkommen trockene und fein zerriebene Tellurmaterial[1]) wurde nun der Destillation im Vakuum unterworfen und zu diesem Zwecke in ein einseitig zugeschmolzenes, enges Verbrennungsrohr eingeschüttet und mit einem abgeplatteten Glasstabe so fest als möglich zusammengedrückt; nach mehreren orientierenden Versuchen wurden zu den einzelnen Destillationen nicht mehr als je 5 bis 7 g des Materials angewendet, da nur so ein rasches Arbeiten ermöglicht und andererseits auch verhindert werden konnte, daß das Glas zusammenfiel, ehe das Tellur vollständig abdestilliert war. In das so beschickte Glasrohr wurden zwei Pfropfen von besonders gereinigtem Asbeste eingeschoben, deren ersterer so dicht als möglich auf das zu

---

[1]) Ein in der oben beschriebenen Weise gewonnenes Tellurpräparat besteht noch keineswegs ausschließlich aus Tellur, sondern ist noch meist mit Wismut und Antimon verunreinigt — vgl. P. Köthner, Lieb. Ann. 319 (1901), 1 und A. Gutbier, Studien über das Tellur (Leipzig 1902) —; nach meinen Erfahrungen (Zeitschr. f. anorg. Chem. 31 [1902], 331; 32 [1902], 31 und 260) sind die Mengen dieser Verunreinigungen oft noch so bedeutend, daß sie sich unter Umständen bequem durch eine sorgfältige, qualitative Untersuchung erkennen lassen. Man könnte daran denken, daß sich diese Verunreinigungen von dem Tellur durch wiederholtes Lösen und Ausfällen, oder auch durch fraktionierte Fällung nach und nach vollständig entfernen lassen würden, und daß man also auf einem derartigen Wege — wenn auch unter großen Verlusten an kostbarer Substanz — schließlich zu reinem Tellur gelangen könnte; P. Köthner (Lieb. Ann. 319 [1901], 1) hat aber durch seine spektralanalytischen Untersuchungen nachgewiesen, daß dies nicht möglich ist, und daß der einzige Weg zur Gewinnung von reinem Tellur in der Vakuumdestillation zu suchen ist; — vgl. hierzu auch Georg W. A. Kahlbaum, Roth und Siedler (Zeitschr. f. anorg. Chem. 29 [1902], 177 und G. Pellini (Ber. deutsch. chem. Ges. 24 [1901], 3807).

destillierende Tellur aufgedrückt wurde, während der zweite in angemessener Entfernung angebracht war.

Auf die Reinigung des zu den vorliegenden Untersuchungen in größeren Mengen zur Verwendung gelangten Asbestes war die größte Sorgfalt verwendet worden:

Das als „rein" bezeichnete Handelsprodukt wurde möglichst fein zerrissen und in Portionen von ungefähr 100 g dreimal mit konzentriertem Königswasser und dann ebensooft mit konzentrierter Salzsäure ausgekocht. Nachdem die Säure abgegossen war, wurde der Asbest unter Umrühren zuerst mit warmer, nur wenig verdünnter Salzsäure digeriert, bis in dieser kein Rückstand mehr nachgewiesen werden konnte; dann wurde nach und nach viel heißes Wasser hinzugefügt, bis auch schließlich diese verdünnte Säure abgegossen und der Asbest zuerst mit heißem und später mit kaltem Wasser bis zur neutralen Reaktion behandelt, auf einen Platinkonus festgesaugt, hierauf in einem Platintiegel bei 120° im Luftbade getrocknet und schließlich, nachdem er mit Pinzetten so fein als möglich zerzupft worden war, stundenlang vor dem Gebläse erhitzt wurde. Noch warm wurde der Asbest in einen Exsikkator gebracht und in letzterem bis zu seiner Verwendung über reiner Schwefelsäure aufbewahrt; vor dem Gebrauche wurde er natürlich von neuem im Gebläsefeuer ausgeglüht.

Das Destillationsrohr wurde jetzt mit Hilfe einer Quecksilberluftpumpe, der nach dem Vorschlage von Georg W. A. Kahlbaum, Karl Roth und Philipp Siedler[1]) ein gläsernes, mit echtem Blattgolde in genügender Menge beschicktes Kugelrohr vorgelegt war, auf 2 bis 3 mm evakuiert und in der von P. Köthner[2]) beschriebenen Weise auf einem Verbrennungsofen solange erhitzt, bis das Tellur durch die Asbestpfropfen hindurchdestilliert war; da hierbei ausschließlich die von P. Köthner[3]) beschriebenen Erscheinungen beobachtet wurden, kann ich auf dessen Arbeit verweisen.

Zur Überführung des Tellurs in eine salzartige, durch Umkristallisieren leicht zu reinigende Verbindung[4]) standen mir

[1]) Zeitschr. f. anorg. Chem. 29 (1902), 177.

[2]) Lieb. Ann. 319 (1901), 1.

[3]) Lieb. Ann. 319 (1901), 1.

[4]) Bekanntlich hat P. Köthner (Lieb. Ann. 319 [1901], 1) spektral-

zwei Methoden zur Verfügung: Ich konnte entweder den von mir schon so oft betretenen Weg einschlagen und das Material in die leicht und prächtig kristallisierende Tellursäure überführen, oder dem Vorschlage P. Köthners[1]) folgend, mein Präparat in das basische Tellurnitrat verwandeln.

Besondere Gründe haben mich veranlaßt, nach beiden Methoden zu arbeiten.

Die Tellursäure wurde, da zu jener Zeit das Hydroperoxydverfahren[2]) noch nicht ausgearbeitet war, nach L. Staudenmaier[3]) unter Anwendung einer, wenn auch nur geringfügigen, so doch recht wertvollen Modifikation des Darstellungsganges[4]), die hier kurz beschrieben werden soll, und unter Beobachtung aller von mir bereits gegebenen Vorsichtsmaßregeln bereitet.

Das im Vakuum destillierte, fein gepulverte Tellur wurde in der reinen Salpetersäure gelöst; die Lösung wurde auf dem Wasserbade zur Trockene verdampft, der Rückstand sorgfältig bei 105 bis 110° getrocknet und dann fein zerrieben in der konzentrierten Salpetersäure suspendiert.

Als nun das Gemisch mit einer klaren, verdünnten Lösung von Chromsäure in der Siedehitze behandelt wurde, war es uns tatsächlich möglich, jeglichen Überschuß an Chromsäure zu vermeiden: Die Oxydation konnte nämlich als beendet angesehen werden, wenn die letzte Spur des Tellurdioxydes in Lösung gegangen

---

analytisch nachgewiesen, daß das Tellur auch noch nach der Vakuumdestillation Verunreinigungen enthält, welche nur dadurch entfernt werden können, daß man das Material in salzartige Verbindungen überführt.

[1]) Lieb. Ann. 319 (1901), 1.

[2]) A. Gutbier und W. Wagenknecht, Zeitschr. f. anorg. Chem. 40 (1904), 260 und A. Gutbier und F. Resenscheck, Zeitsch. f. anorg. Chem. 42 (1904), 174.

[3]) Zeitschr. f. anorg. Chem. 10 (1895), 189.

[4]) Wie erinnerlich sein dürfte, habe ich mit F. Flury — Zeitschr. f. anorg. Chem. 32 (1902), 96 — über den einzigen Übelstand berichtet, welcher leicht die glatte Abscheidung der Tellursäure verhindern kann: es ist dies der Überschuß an Chromsäure, den man ganz unwillkürlich immer dann in verstärktem Maße anwenden wird, wenn man Tellur selbst zu Tellursäure oxydiert. F. Flury und ich hatten deshalb schon empfohlen, nicht zu große Quantitäten des Tellurs auf einmal zu verarbeiten; da aber auch unter diesen Umständen die Säure meist noch sehr stark mit überschüssigem Chrominitrat verunreinigt ist, habe ich Herrn W. Wagenknecht veranlaßt, nach dem oben geschilderten Verfahren zu arbeiten.

war. Die braune Farbe der Lösung änderte sich dann selbst bei halbstündigem Erhitzen nicht mehr und bei dem Einengen der Lösungen schied sich die Tellursäure so gut ab, wie nie zuvor.

Dieses gute Resultat hat mich veranlaßt, die großen Mengen von Tellursäure, welche ich zu dieser Arbeit nötig hatte, ausschließlich nach diesem Verfahren darzustellen; wir haben dabei nie wieder die unangenehme Enttäuschung erlebt, an Stelle der erwarteten Tellursäure große Mengen von Chrominitrat auskristallisiert zu sehen!

Während die Mutterlaugen in der früher beschriebenen Weise weiter auf Tellursäure verarbeitet wurden, nahmen wir die Kristallscheiben heraus, wuschen sie mit Salpetersäure ab und reinigten sie vorläufig dadurch, daß wir sie so oft in wenig heißem Wasser unter Zusatz einiger weniger Tropfen Alkohol lösten und mit abgekühlter, konzentrierter Salpetersäure ausfällten, bis die abgeschiedenen Kristalle absolut klar und farblos geworden waren und sich in Wasser zu einer vollkommen klaren Flüssigkeit auflösten. Nachdem hierauf die Kristalle in einer Platinschale auf dem Wasserbade solange unter Umrühren erhitzt worden waren, bis der Geruch nach Salpetersäure auch nach dem Zerreiben der Kristallmasse vollständig verschwunden war, wurde das Produkt durch heißes Wasser so weit als möglich in Lösung gebracht; die so gewonnenen Flüssigkeiten wurden mehrmals durch gehärtete Filter filtriert, damit die geringen Mengen der sich bei dem Erhitzen der Kristallmasse auf dem Wasserbade immer bildenden wasserärmeren Hydrate der Tellursäure sicher entfernt werden konnten[1]).

---

[1]) Ein in Wasser nicht auflösbarer Rückstand, wie der soeben erwähnte, tritt, wie ich vor einiger Zeit mit F. Flury — Zeitschr. f. anorg. Chem. 32 (1902), 272 — zeigen konnte, bei nicht ganz reiner Tellursäure leicht auf und rührt auf Grund der übereinstimmenden Resultate, welche die Untersuchungen von F. Mylius — Ber. deutsch. chem. Ges. 34 (1901), 2208 — und die meinigen — Zeitschr. f. anorg. Chem. 32 (1902), 96 — ergeben haben, von „wasserärmeren Hydraten der Tellursäure" her.

Derartige Produkte entstehen, wie wir erkannt haben, besonders leicht dann, wenn man wässrige Lösungen von nicht absolut reiner Tellursäure auf dem Wasserbade zur Kristallisation einengt, und werden stets in dem Falle erhalten, wo wässrige Lösungen von selbst reinster Tellur-

Die klar filtrierten Lösungen wurden in Platinschalen der freiwilligen Kristallisation bei gewöhnlicher Temperatur über-

---

säure bei höherer Temperatur zur Trockne verdampft werden, und wo dann die vermeintliche Tellursäure in Gestalt einer glasartig erstarrenden Masse zurückbleibt; außerdem entstehen sie, wenn auch natürlich in geringerem Maße, bei dem Trocknen feuchter Tellursäurekristalle auf dem Wasserbade.

Wie ich bereits — Zeitschr. f. anorg. Chem. 32 (1902), 96 — mitgeteilt habe, hat es sich direkt als unmöglich erwiesen, die wässrigen Lösungen einer derartig verunreinigten Säure durch Filtrieren durch gewöhnliche Filter von dem Rückstande zu befreien: hier führt nur wiederholtes Filtrieren durch gehärtete Filter nach und nach zum Ziele, zumal ja die „wasserärmeren Hydrate" in zwei Modifikationen auftreten, von denen die milchigweiße Trübung so fein ist, daß sie selbst bei tagelangem Stehen der Flüssigkeit nicht zum Absetzen zu bringen ist, während die zweite Form, die übrigens auch P. Köthner — Lieb. Ann. 319, 1 — allem Anscheine nach in seiner Tellursäure gehabt hat, eine voluminöse Gallerte bildet, welche sich relativ leicht durch Filtrieren entfernen läßt.

Wenn nun somit auch nachgewiesen ist, daß die Tellursäure in wässriger Lösung auf dem Wasserbade eingedampft bis zu einem gewissen Prozentsatze, welcher mit der Menge der angewandten Substanz steigt, in „wasserärmere Hydrate übergeht, so ist der Schluß, daß die Tellursäure als solche mit den Wasserdämpfen flüchtig sei, nicht richtig!

Schon frühere Versuche hatten mir die Unmöglichkeit einer solchen Annahme bewiesen: wir konnten nämlich konstatieren, daß die Menge des Tellurs bei dem Eindampfen der Tellursäurelösungen sich immer gleich blieb, und daß die Menge des Tellurdioxydes, das schließlich nach dem Erhitzen zurückblieb, stets mit der berechneten Menge in Übereinstimmung stand; um aber ganz sicher zu gehen, habe ich mit F. Römer und W. Wagenknecht folgende neue Versuche angestellt:

5 g reinster Tellursäure wurden in einem Erlenmeyer-Kölbchen in reinstem Wasser gelöst; das Kölbchen wurde mit einem einfach durchbohrten Stopfen verschlossen, durch dessen Bohrung eine umgebogene Glasröhre reichte, welche mittels eines zweiten Stopfens mit einem gläsernen Kühlrohre in Verbindung stand; letzteres endete in einen zweiten, gekühlten Erlenmeyer-Kolben.

Die in dem Destillationskölbchen befindliche Lösung wurde durch vorsichtiges Erhitzen bis zur Abscheidung der glasig erstarrenden Masse abdestilliert und dann wurde noch soweit erhitzt, bis überhaupt keine Spur von Feuchtigkeit mehr in dem Kölbchen zu bemerken war; hierauf wurde das Kühlrohr mit Wasser in das Destillat abgespült und die so erhaltene klare Flüssigkeit mit einem so beträchtlichen Überschusse von 50%iger Hydrazinhydratlösung versetzt, daß auch die minimalste Spur

lassen und die ausgeschiedenen Kristalle noch zehnmal aus wenig Wasser unter Störung der Kristallisation umkristallisiert.

Die schließlich erhaltenen, vollkommen klaren und farblosen Kristalle gingen beim Übergießen mit reinem, heißen Wasser in Lösung, ohne auch nur die geringste Spur eines unlöslichen Rückstandes zu hinterlassen[1]).

---

von Tellursäure beim Erwärmen sich durch Bildung des flüssigen Tellursoles hätte anzeigen müssen.

In bester Übereinstimmung mit meinen früheren Resultaten fand aber F. Römer, daß weder bei dem Erwärmen, noch bei dem Aufkochen, noch auch bei dem energischen Konzentrieren und vollständigem Eindunsten der Flüssigkeit auf dem Wasserbade selbst auf erneuten Zusatz von Hydrazinhydrat die geringste Spur von Tellur nachgewiesen werden konnte.

Einen ebenso unzweideutigen Beweis für die Nichtflüchtigkeit der Tellursäure hat schließlich W. Wagenknecht noch auf analytischem Wege erbracht.

In einem Platintiegel, der mit einem Deckel versehen in einer Platinschale auf dem Wasserbade stand, wurden 2,1631 g Tellursäure in reinstem Wasser gelöst und diese Lösung unter Anwendung aller erdenklichen Vorsichtsmaßregeln zur Trockne verdampft; dann wurde der bedeckte Tiegel in einen Porzellantrockenschrank gebracht, der langsam auf 90° erwärmt und 2 Stunden lang bei dieser Temperatur erhalten wurde. Die Temperatur wurde langsam auf 115°, 145° und 170° gesteigert und bei den einzelnen Graden jedesmal 2 Stunden lang konstant erhalten; dann wurde der Tiegel in der Schale über einem Mikrobrenner vorsichtig bis zum konstanten Gewichte erhitzt und schließlich wurde das im Tiegel befindliche Tellurdioxyd zum Schmelzen gebracht, ohne daß sich dabei das Gewicht verändert hätte.

Auf solche Weise behandelt verloren die 2,1631 g der angewandten Tellursäure 0,6681 g an Gewicht und hinterließen somit 1,4950 g Tellurdioxyd.

Während sich für den Übergang von Tellursäure — H_6TeO_6 — in Tellurdioxyd — TeO_2 — 30,50% berechnen, fand W. Wagenknecht 30,87%!

[1]) In dem vierten Bande des Handwörterbuches der anorganischen Chemie von Dammer: „Die Fortschritte der anorganischen Chemie in den Jahren 1892—1902“ findet sich auf Seite 282 die Angabe, daß die Tellursäure nach dem L. Staudenmaierschen Verfahren absolut rein nicht zu erhalten sei.

Der Referent bezieht sich dabei auf eine Bemerkung des Herrn P. Köthner — Lieb. Ann. 319 (1901), 1 —, welche aber niemals so aufgefaßt werden kann, wie es von seiten des Referenten geschehen ist, denn

Von der Reinheit der Tellursäure überzeugte ich mich außerdem noch durch eine äußerst sorgfältige, qualitative Untersuchung, sowie durch folgende, mit Hydrazinhydrat[1]) ausgeführten quantitativen Analysen:

1. 0,5324 g Substanz : 0,2950 g Tellur
2. 0,3130 g „ : 0,1741 g „
3. 0,4262 g „ : 0,2365 g „

Ber. für H_6TeO_6	Gef.:
	1. 55,41% Te.
55,56% Te.	2. 55,63% Te.
	3. 55,49% Te.

Das im Vakuumexsikkator über Phosphorpentoxyd getrocknete Material wurde schließlich in beschriebener Weise[2]) in Tellurdioxyd übergeführt, welches von der reinen, warmen Salzsäure ohne die geringste Chlorentwicklung aufgelöst wurde und auch beim Kochen der Lösungen kein Chlor lieferte: das Tellurdioxyd enthielt also kein Tellurtrioxyd!

P. Köthner sagt nur, daß „diese Verbindung, wenn man ihrer Zusammensetzung als H_6TeO_6 sicher sein will, mit großer Vorsicht behandelt werden muß".

Ich möchte daher an dieser Stelle ausdrücklich das Referat in Dammers Handwörterbuch dahin berichtigen, daß man Tellursäure nach dem Verfahren von L. Staudenmaier — Zeitschr. f. anorg Chem. 10 (1895), 189 — leicht absolut rein erhält, wenn man das durch mehrmalige Kristallisation gereinigte Produkt keiner Behandlung unterwirft, die es seinen Eigenschaften nach nicht vertragen kann. Schon L. Staudenmaier erwähnt an verschiedenen Stellen seiner Arbeit, daß die von ihm erhaltenen Kristalle der reinen Tellursäure vollkommen klar und farblos gewesen seien, und ich kann auf Grund meiner Erfahrungen nur sagen, daß ein farbloser und klarer Tellursäurekristall sich auch ohne Rückstand in Wasser auflöst.

Alle Präparate, die einen Rückstand hinterlassen, sind für weitere Arbeiten ungeeignet, und schon eine geringe Menge der „wasserärmeren Hydrate" muß jede Atomgewichtsbestimmung vereiteln; wie schwierig es ist, mit der Tellursäure selbst Atomgewichtsbestimmungen auszuführen, habe ich früher selbst erkennen können, wenn es mir durch irgendwelche Zufälligkeiten nicht gelungen war, auch noch die letzten, minimalen Spuren des bei dem Erhitzen der Tellursäure entwickelten Wassers in das vorgelegte Chlorkalziumrohr mit übertreiben zu können!

[1]) A. Gutbier, Ber. deutsch. chem. Ges. 34 (1901), 2724.

[2]) A. Gutbier, Lieb. Ann. 320 (1902), 52; Zeitschr. f. anorg. Chem. 29 (1902), 22.

Der andere Teil des destillierten Tellurs wurde unter peinlichst genauer Einhaltung aller der von P. Köthner[1]) gegebenen Vorsichtsmaßregeln in das basische Tellurnitrat übergeführt, welches durch zweimaliges Umkristallisieren gereinigt, mit absolutem Alkohol behandelt und nach dem Trocknen ebenfalls in Tellurdioxyd verwandelt wurde.

Von der Reinheit des basischen Tellurnitrates überzeugten wir uns außerdem noch durch folgende Analysen:

1. 0,6255 g Substanz : 0,5228 g TeO_2.
2. 0,3058 g „ : 0,2550 g TeO_2.

Ber. für $(TeO_2)_2HNO_3$:	Gef.:
83,51% TeO_2	1. 83,58% TeO_2
	2. 83,39% TeO_2.

Auch das hier erhaltene Dioxyd löste sich in warmer Salzsäure ohne die geringste Chlorentwicklung auf: es war also ebenfalls frei von Tellurtrioxyd und Salpetersäure!

Die auf diesen beiden Wegen gewonnenen Präparate von Tellurdioxyd wurden, nachdem je eine Probe zur Kontrolle des Atomgewichtes zurückbehalten worden war, vereinigt und in der warmen Salzsäure gelöst; nachdem die Lösungen mit reinstem heißen Wasser soweit als angängig verdünnt und dann durch gehärtete, ihrerseits vor dem Gebrauche mit Salzsäure erschöpfend behandelte Filter filtriert worden waren, wurde das mehrere Liter betragende Flüssigkeitsquantum zur bequemeren Handhabung in einzelne Erlenmeyer-Kölbchen so verteilt, daß jedes ungefähr 200 ccm der Lösung enthielt.

Jetzt wurden die einzelnen Flüssigkeitsmengen in der Siedehitze rasch mit reinstem arsenfreien Schwefelwasserstoff gesättigt.

Der Grund für dieses Vorgehen ist in folgenden Überlegungen zu suchen:

Bekanntlich[2]) ist der durch Schwefelwasserstoff aus Tellurlösungen gefällte Niederschlag sehr unbeständig; mit F. Flury

---

[1]) Lieb. Ann. 319 (1901), 1.

[2]) Vgl. hierzu: Berzelius; Lehrbuch. Becker, Lieb. Ann. 180 (1876), 260. B. Brauner, Chem. Soc. Journ. 67, 545. L. Staudenmaier, Zeitschr. f. anorg. Chem. 10 (1895), 189. H. Rose, Pogg. Ann. 112, 316. A. Gutbier, Studien über das Tellur S. 40, sowie A. Gutbier und F. Flury, Zeitschr. f. anorg. Chem. 32 (1902), 272.

habe ich gezeigt[1]), daß einerseits dem aus Tellurdioxyd entstehenden Produkte die Formel TeS_2 zukommt, daß es aber andererseits nur als ein Gemenge in dem konstanten Verhältnisse 1 Te : 2 S aufzufassen ist, da wir den Schwefel durch Extraktion mit Schwefelkohlenstoff bis zu 1,18% entfernen konnten, vorausgesetzt, daß wir diese Extraktion in einem Soxlethschen Apparate mit einem vollkommen trockenen und sehr fein pulverisierten Niederschlage vornahmen[2]).

Da weitere Versuche zeigten, daß hiermit die Grenze des durch Schwefelkohlenstoff extrahierbaren Schwefels erreicht war, erwähnten wir bereits, daß uns zur Deutung dieser interessanten Tatsache zwei Möglichkeiten zur Verfügung stehen: es könnte nämlich entweder ein Gleichgewichtszustand eingetreten, oder aber dieser hartnäckig zurückgehaltene Schwefel, wie ja schon B. Brauner[3]) vermutete, chemisch an ein anderes Element gebunden sein, welches eine große Affinität zum Tellur besitze.

Zur Entscheidung über diese hochwichtige Frage stellte ich mir Tellurschwefel dar, um dieses Produkt weiter geeigneten Prozessen unterwerfen zu können.

Die Lösungen wurden solange mit Schwefelwasserstoff behandelt, bis der Niederschlag eine einheitliche schwarze Farbe[4])

---

[1]) Zeitschr. f. anorg. Chem. 32 (1902), 272.

[2]) In den meisten Fällen beträgt, wie ich ergänzend bemerken möchte, der Schwefelgehalt des Rückstandes nach 36stündiger Extraktion allerdings vielfach noch etwas über 2%, da sich der getrocknete Niederschlag meist zusammenballt und somit nicht ganz gleichmäßig extrahieren läßt; nimmt man sich aber die Mühe, ein so behandeltes Produkt nach dem Abwaschen und Trocknen möglichst fein zu pulverisieren und dann nochmals 6 bis 12 Stunden der Extraktion zu unterwerfen, so gewinnt man einen Rückstand, welcher nur noch 1,18 bis höchstens 1,5% Schwefel enthält.

Folgende Analysen mögen dies noch beweisen:

1. Rückstand nach 36stündiger Extraktion:
   a) 0,2580 g Substanz : 0,0433 g $BaSO_4$ = 2,30% S.
   b) 0,4030 g „ : 0,0694 g $BaSO_4$ = 2,36% S.
2. Rückstand nach erneuter 12stündiger Extraktion:
   a) 0,6297 g Substanz : 0,0551 g $BaSO_4$ = 1,20% S.
   b) 1,0300 g „ : 0,0900 g $BaSO_4$ = 1,19% S.

[3]) Monatsh. f. Chem. 10, 411.

[4]) Vgl. A. Gutbier und F. Flury, Zeitschr. f. anorg. Chem. 32 (1902), 272.

angenommen hatte; die Niederschläge wurden zuerst mit frisch bereitetem Schwefelwasserstoffwasser und dann mit lauwarmem Wasser bis zur neutralen Reaktion dekantiert[1]), durch Aufsaugen auf ein Filter nach Möglichkeit von der anhängenden Flüssigkeit befreit und bei 105° getrocknet.

Eine Probe des Produktes wurde mit folgendem Resultate analysiert:

1. 0,4104 g Substanz: 0,2728 g Tellur.
2. 0,3782 g „ : 0,2516 g „

Ber. für TeS_2:	Gef.:
66,60 % Te.	1. 66,48 % Te.
	2. 66,53 % Te.

Da das Produkt der gewünschten Zusammensetzung entsprach, wurde es in einer Achatschale so fein als möglich pulverisiert und dann in Portionen von 10 bis 15 g im Soxlethschen Extraktionsapparate mit dreifach fraktioniertem und dann rektifiziertem Schwefelkohlenstoff 36 Stunden lang behandelt. Aus den oben angeführten Gründen wurde der bei dieser Operation erhaltene Rückstand nach dem Abwaschen und Trocknen fein gepulvert und abermals 12 Stunden lang mit Schwefelkohlenstoff extrahiert; schließlich wurde der Rückstand mit Schwefelkohlenstoff und dann mit frisch destilliertem absoluten Äther gewaschen und bei 70° getrocknet.

Es galt nun, aus diesem Materiale das reine Tellur zu isolieren.

Nach einer großen Anzahl von Vorversuchen, welche W. Wagenknecht in seiner Dissertation beschrieben hat, versuchte ich schließlich, den Extraktionsrückstand der Destillation im Vakuum zu unterwerfen, und tatsächlich gelang es mir, so das Tellur aus dem vorliegenden Materiale herauszudestillieren und durch wiederholte fraktionierte Destillation endlich ein reines, absolut schwefelfreies Präparat zu erhalten.

Auf Grund der Vorversuche verfuhren wir nun so, daß wir den trockenen, pulverisierten Extraktionsrückstand in Por-

[1]) Die vereinigten Filtrate und Waschwässer wurden eingeengt, das resultierende geringe Flüssigkeitsquantum mit einigen Tropfen Salzsäure versetzt und in der Siedehitze abermals mit Schwefelwasserstoff behandelt; die neu erhaltenen geringen Mengen des Niederschlages wurden für sich weiter verarbeitet.

tionen von 5 bis 10 g in engen Glasröhren in der oben beschriebenen Weise erhitzten; die Röhren wurden zu den ersten vier Destillationen mit zwei, von da aber mit vier Asbestpropfen beschickt, auf mindestens 4 bis 5 mm evakuiert und auf einem Verbrennungsofen zunächst in ihrer ganzen Länge gleichmäßig stark erhitzt, wobei von vornherein jedes Rohr bis über den letzten Asbestpropfen hinaus mit einer Asbestschiene bedeckt wurde[1]).

Jede Portion des Produktes mußte einer vierzehnmaligen fraktionierten Destillation im Vakuum unterworfen werden, ehe wir das Material weiter verwenden konnten; hierbei ließ sich folgendes erkennen:

1. Bei der ersten Destillation traten an den kalten Stellen der Röhren gelb, mitunter auch schwach braungefärbte Tropfen von destilliertem Schwefel auf; es gelang in den meisten Fällen nicht, das Tellur aus den geringen zur Anwendung gelangten Portionen mit einem Male herauszudestillieren, da die Destillation äußerst langsam vor sich ging und die Röhren an dem erhitzten Ende zusammenfielen. Das destillierte Tellur war an seiner glatten Oberfläche deutlich sichtbar mit geschmolzenem

---

[1]) Diese Anordnung mußte getroffen werden, da ein Teil des Schwefels in dem Momente abdestillierte, in dem das Material zum Schmelzen kam; durch das Erhitzen des ganzen Rohres erreichten wir, daß dieser verflüchtigte Schwefel mit dem später destillierenden Tellur nicht wieder in Berührung kam. Die Flammen wurden erst dann soweit abgedreht, daß das Rohr nur noch gerade bis über den letzten Asbestpfropfen erhitzt wurde, wenn an den nicht erwärmten Stellen ein Anflug von Tellur zu bemerken war.

Nach beendeter Destillation ließen wir jedes Rohr langsam erkalten und schnitten es darauf so ab, daß derjenige Teil der Röhre, in welchem sich das Tellur angesammelt hatte, von den beiden Enden der Röhre abgetrennt wurde; da sich in jeder Röhre drei Fraktionen — Rückstand, Tellur und Schwefel — befanden, wurde nur immer die mittlere Fraktion weiter verarbeitet.

Durch einen Schlag auf den Teil des Rohres läßt sich das Tellur, das bei richtig geleiteter Destillation in einen Regulus zusammenfließt, in einem Stücke entfernen; vielfach befinden sich aber auch in den Röhren prächtig ausgebildete lange Nadeln, zu denen der Tellurdampf bei langsamer Abkühlung erstarrt.

Die Reguli wurden in einer Achatschale so fein als möglich pulverisiert und so zu den weiteren Destillationen verwandt.

Schwefel, der sich auch ganz bequem durch eine qualitative Analyse erkennen ließ, verunreinigt.

2. Bei der zweiten Destillation, welche nur 2 bis höchstens 3 Stunden in Anspruch nahm, hatten sich wieder an den kalten Stellen der einzelnen Röhren einzelne gelbgefärbte Tropfen von destilliertem Schwefel angesammelt und in dem zugeschmolzenen Ende der Röhren befand sich noch ein Rückstand.

In dem abdestillierten Tellur konnte Schwefel auf analytischem Wege noch mit Sicherheit nachgewiesen werden.

3. Bei der dritten Destillation war in den Röhren nicht mehr geschmolzener Schwefel, sondern nur noch ein schwach hellgelbgefärbter Beschlag von destilliertem Schwefel zu bemerken; der Rückstand war zwar verschwindend klein, aber mit bloßem Auge doch noch als solcher mit großer Deutlichkeit wahrnehmbar.

Die Destillation selbst dauerte nur noch ungefähr $1^1/_2$ Stunden; in dem abdestillierten Tellur konnte Schwefel analytisch mit unbedingter Sicherheit nur noch dann nachgewiesen werden, wenn zu der Untersuchung eine große Substanzmenge angewandt wurde.

4. Trotzdem hatte sich bei der vierten Destillation, wenn auch nur noch in sehr geringer Menge und erst bei dem Betrachten mit der Lupe deutlich sichtbar, ein schwach gelblich gefärbter Schwefelbeschlag abgelagert; der nicht abdestillierbare Rückstand bestand nur noch aus einigen schwarzen Punkten, die mit unbewaffnetem Auge kaum erkennbar waren.

Die Destillation ging ziemlich rasch vonstatten und nahm durchschnittlich 1 Stunde in Anspruch.

5. Von jetzt ab wurde das Tellur durch vier Asbestpropfen hindurchdestilliert.

Bei der fünften fraktionierten Destillation war ein Rückstand in den Röhren in Gestalt einiger geringer schwarzer Punkte bei dem Betrachten mit der Lupe noch wahrzunehmen und an den kalten Stellen der Röhren konnte ein geringer weißlicher Beschlag konstatiert werden.

Die Destillation dauerte durchschnittlich nicht länger als 45 Minuten.

6.—12. Bei der abermaligen Wiederholung des Verfahrens

konnte ein Rückstand auch mit den besten Hilfsmitteln absolut nicht mehr wahrgenommen werden, aber der bereits erwähnte weißliche Beschlag trat immer noch in minimalen sichtbaren Spuren kurz, ehe das Tellur abzudestillieren begann, auf.

Diese unangenehme Erscheinung blieb noch bis zur zwölften Destillation bestehen, ohne daß es uns trotz wiederholter, mühevoller Versuche gelungen wäre, die chemische Natur des Beschlages auf analytischem Wege ergründen zu können, da der Beschlag meist nur einem Hauche glich.

13.—14. Schließlich haben wir das Material noch zweimal im Vakuum destilliert, und hatten die Genugtuung, zu sehen, daß weder ein Rückstand, noch auch ein Beschlag mehr auftrat.

Dieses Tellurpräparat[1]), welches das Ausgangsmaterial für meine neuen Atomgewichtsbestimmungen darstellte, bestand aus schmalen, länglichen Metallstücken, die einen herrlichen Metallglanz besaßen und an den Bruchstellen die gleiche ausgezeichnete Kristallstruktur zeigten, die oft an der Oberfläche der Reguli zu bemerken war; selbst mit den feinsten, analytischen Methoden konnte nicht die geringste Spur von Schwefel oder von anderen Verunreinigungen in dem Präparate nachgewiesen werden.

2. Die Bereitung des Analysenmateriales.

Es galt nun, das Tellur in eine gut kristallisierende und leicht in reinstem Zustande zu erhaltende Verbindung überzuführen, mit der die Atomgewichtsbestimmung vorgenommen werden konnte.

Nach mehreren orientierenden Versuchen entschied ich mich schließlich für die Darstellung des basischen Tellurnitrates, und zwar nicht allein aus dem Grunde, weil P. Köthner[2]) mit diesem Produkte so vorzüglich übereinstimmende Resultate erhalten hatte, sondern vor allem deshalb, weil ich zur Bereitung dieser Verbindung außer der reinsten Salpetersäure und dem zu ihrer Verdünnung benötigten reinsten Wasser keinerlei

[1]) Es ist selbstverständlich, daß bei dieser Art der Reinigung nicht mehr als 15 bis 20% reines Tellur aus dem ursprünglichen Ausgangsmaterial erhalten werden.

[2]) Lieb. Ann. 319 (1901), 1.

andere Reagentien benötigte, durch welche mein mit so großen Mühen dargestelltes Tellur wieder hätte verunreinigt werden können.

Zur Darstellung des basischen Tellurnitrates, welches von Klein und Morel[1]) entdeckt, zuerst aber von Norris, Fay und Edgerly[2]) näher untersucht worden ist, und das nach den übereinstimmenden Resultaten, welche diese Forscher sowie P. Köthner[3]) zu verzeichnen hatten, die Zusammensetzung $(TeO_2)_2HNO_3$ und die Konstitutionsformel

$$\begin{array}{l} O = Te - OH \\ \qquad\quad \diagdown O \\ \qquad\quad \diagup \\ O = Te - ONO_2 \end{array}$$

besitzt, habe ich im engsten Anschlusse an die Arbeitsweise von P. Köthner[4]) folgenden Weg eingeschlagen:

Das feinst gepulverte Tellurmaterial wurde in die reinste, auf 60° erwärmte Salpetersäure vom spez. Gew. 1,255 so eingetragen, daß die Lösung jedesmal, wenn die angewandte Menge der Säure mit dem Tellur annähernd gesättigt war, in ein anderes Gefäß abgegossen wurde; die klare Lösung wurde schließlich durch den reinen, vorher nochmals mit Salpetersäure erschöpfend behandelten Asbest filtriert und in Glasschalen auf dem Wasserbade bei 65° zur Kristallisation eingeengt. Um ganz sicher zu vermeiden, daß Staub oder andere Verunreinigungen in die Flüssigkeit gelangen konnten, wurden die Kristallisationsschalen mit V. Meyerschen Glastrichtern bedeckt und außerdem fand das Einengen der Lösungen in einem besonderen Raum statt, so daß die Einwirkung schädlicher Dämpfe unmöglich war.

Eine Probe auf die Reinheit meines Tellurs mußte sich in Übereinstimmung mit den sorgfältigen qualitativen Untersuchungen bei dem Auflösen der Substanz und bei dem Einengen der Lösungen erkennen lassen: Das Tellur mußte sich ohne Rückstand klar und farblos lösen. In der Tat wurden

---

[1]) Bull. soc. Chim. (Paris) 43, 198. Compt. rend. 99 (1884), 326 und 100 (1885), 1140.

[2]) Americ. chem. Journ. 23, 105.

[3]) Lieb. Ann. 319 (1901), 1.

[4]) loc. cit.

meine Erwartrungen in vollstem Maße bestätigt, und ich erhielt direkte prachtvoll klare und reine Kristalle.

Die Kristalle wurden durch mehrmaliges Abspülen mit Salpetersäure vom spez. Gew. 1,255 von der anhängenden Mutterlauge befreit und dann zweimal umkristallisiert; hierzu wurden sie bei 60 bis 65° in überschüssiger Salpetersäure vom spez. Gew. 1,255 gelöst, worauf die Lösung durch gehärtete, vorher mit Salpetersäure behandelte Filter filtriert und bei 65° in der oben beschriebenen Weise eingeengt wurde.

Die schließlich erhaltenen Abscheidungen wurden aus der heißen Nitratlösung herausgenommen — hierzu bediente ich mich zweier Glasgabeln — und zuerst in eine, mit reiner warmer Salpetersäure angefüllte Schale gebracht, in welcher die Kristalle mehrmals mit neuen Mengen warmer und dann mit kälterer Säure gewaschen wurden[1]).

Zum Schlusse wurden die Kristalle mit eiskalter Salpetersäure übergossen und unter dieser mit einem Porzellanpistill zu einem feinen Pulver zerrieben, das noch dreimal mit Salpetersäure abgespült wurde[2]). Die zuletzt aufgegossene Säure wurde jetzt mit kaltem, absoluten Alkohol, welcher 24 Stunden lang über gebrannten Marmor im Sieden erhalten und dann in die von P. Köthner[3]) beschriebene Flasche abdestilliert worden war, in geringer Menge vermischt; nach kurzer Zeit wurde ein Teil der Flüssigkeit abgegossen und dann dem Reste mehr Alkohol zugefügt, und so wurde weiter verfahren, bis die letzten Reste der Salpetersäure endgültig entfernt waren, d. h. bis der zuletzt abgegossene Alkohol nach dem Verdünnen mit Wasser neutral reagierte.

Bei dieser Bereitung des basischen Tellurnitrates habe ich

---

[1]) Hierdurch wird, wie P. Köthner — Lieb. Ann. 319 (1901), 1 — gezeigt hat, das Ausfallen kleiner Kristalle vermieden und gleichzeitig die Mutterlauge vollständig entfernt.

[2]) Die Verluste, welche man bei dieser Operation dadurch erleidet, daß ein Teil des feinen Pulvers von der Salpetersäure gelöst und auch mit ihr abgeschlämmt wird, sind zwar naturgemäß bedeutend, kommen aber nicht weiter in Betracht, da man ja durch Einengen der Lösung das Material immer wieder zurückgewinnen kann; ich habe aber derartig wiedergewonnene Präparate nicht weiter verwendet.

[3]) Lieb. Ann. 319 (1901), 1.

die Abscheidung von Tellurdioxyd oder von telluriger Säure niemals bemerkt!

Das Kristallpulver wurde nun rasch auf einem gehärteten Filter und zwar nach dem Vorschlage P. Köthners[1]) in einer trockenen, kohlensäurefreien Atmosphäre abgesaugt und dann in fast trockenem Zustande in einen mit Phosphorpentoxyd beschickten Exsikkator gebracht, in welchem das Produkt im Vakuum aufbewahrt wurde.

Im trockenen Zustande zeigte das Präparat vollkommenen Glanz und erwies sich bei der Betrachtung unter dem Mikroskope als durchaus einheitlich und klar; auch bei dem Erhitzen auf 120° nahm keine Probe an Gewicht ab: das Produkt mußte also als rein angesehen werden.

Da ich nun aber trotz aller erdenklichen Mühe und Sorgfalt mit dem basischen Tellurnitrate übereinstimmende Analysenresultate nicht habe erhalten können, stellte ich mir aus dem Nitrat auf folgende Weise Tellurdioxyd dar:

Eine angemessene Menge des Nitrates wurde in einen bedeckten Platintiegel, der in einem Berliner Porzellantiegel stand, gegeben; nachdem die Tiegel in den runden Ausschnitt einer Asbestplatte gehängt worden waren, wurden sie in der von P. Köthner[2]) ausführlich beschriebenen Weise zunächst angewärmt, bis die Stickoxyde entfernt waren und dann langsam bis zu konstantem Gewichte weiter erhitzt. In bestimmten Zeitabschnitten wurde der innere Tiegel gewogen und das Erhitzen wurde erst beendet, nachdem drei aufeinander folgende Wägungen Gewichtskonstanz angezeigt hatten.

Das so gewonnene Tellurdioxyd bildete eine weiße, fast porös zu nennende Masse, welche, wie es in meiner Absicht gelegen hatte, nicht geschmolzen war und sich leicht zu einem feinen Pulver zerreiben ließ[3]).

Durch die rein weiße Farbe des Produktes war schon erwiesen, daß das Tellurdioxyd weder mit Platin, noch mit Tellur verunreinigt war, denn dadurch würde eine schwachgraue,

[1]) Lieb. Ann. 319 (1901), 44.

[2]) loc. cit.

[3]) Ich wendete nicht, wie z. B. G. Pellini — Ber. deutsch. chem. Ges. 34 (1901), 3807 — geschmolzenes Tellurdioxyd an, weil das schmelzende Dioxyd Spuren von Platin aus dem Tiegel auflöst.

bezw. bräunliche Färbung hervorgerufen worden sein; außerdem lösten sich 5,00378 g in mäßig verdünnter Salzsäure ohne Rückstand auf, was durch die Gewichtskontrolle eines Neubauer-Tiegels, durch den ich die Lösung filtrierte, festgestellt wurde. Durch einen Versuch ähnlicher Art, nämlich durch Lösen von 3,1270 g des Produktes in Salzsäure wies ich auch noch nach, daß das Präparat nicht mit Tellurtrioxyd oder gar mit basischem Tellurnitrat verunreinigt war: eine mit chemisch reinem Jodkalium beschickte Vorlage enthielt nach Beendigung des Versuches nicht die geringste, bestimmbare Menge von Jod.

Da schließlich auch noch genau abgewogene Proben des Dioxydes beim Schmelzen in doppelten Platintiegeln keine Gewichtsveränderung erlitten, konnte ich davon überzeugt sein, daß ich chemisch reines Tellurdioxyd zur Verfügung hatte.

3. Über die Analysenmethoden und die erhaltenen Resultate.

Die Methoden der Atomgewichtsbestimmung waren durch die Eigenschaften des vorliegenden Analysenmateriales gegeben und bestanden darin, daß 1. die Menge des in dem basischen Tellurnitrate enthaltenen Tellurdioxydes und 2. der Gehalt des Tellurdioxydes an Tellur bestimmt werden sollte.

Die Wägungen wurden auf der bereits beschriebenen Wage[1]) mit einem korrigierten Gewichtssatze vorgenommen, dessen einzelne Gewichte genau aufeinander normiert waren und gleich der Wage öfters kontrolliert wurden. Die Wägungen wurden jedesmal erst dann ausgeführt, wenn die betr. Apparate etc. 2 Stunden im Wägezimmer gestanden hatten und jede Wägung wurde doppelt vorgenommen.

Da es sich bei der Analyse des basischen Tellurnitrates nur um Differenzbestimmungen handelt, habe ich keine Reduktion der Wägungen auf den luftleeren Raum vorgenommen; alle übrigen Analysenangaben sind auf den luftleeren Raum reduziert.

---

[1]) Lieb. Ann. 320 (1902), 52.

A. Überführung des basischen Tellurnitrates in Tellurdioxyd.

Zur Ausführung dieser Bestimmungsreihe dienten mir zwei Platintiegel, welche so ineinander eingestellt werden konnten, daß der innere Tiegel mit dem Deckel verschlossen nicht an den äußeren anstieß.

Die Substanz wurde in den inneren Tiegel eingewogen und mit diesem zunächst in einem Porzellantrockenschrank auf 120° erhitzt, wobei aber, wie erwähnt, eine Gewichtsveränderung nicht konstatiert werden konnte; nach erneuter Wägung wurde der mit dem Deckel verschlossene Tiegel in den zweiten eingestellt, worauf beide — je nach der angewandten Substanzmenge — 2 bis 6 Stunden lang durch eine zentimeterhohe, leuchtende Bunsenflamme erhitzt wurden; nachdem so die Stickoxyde entfernt waren, ließ man die Tiegel erkalten und nahm eine Wägung vor. Der Platindeckel war hierbei in allen Fällen noch blank und der Tiegelinhalt bestand — genau, wie, P. Köthner[1]) dies schildert — aus einem voluminösen, orangegelb gefärbten Pulver. Dann wurde zunächst mit einer kleinen Flamme weiter erwärmt, ehe die Temperatur ganz allmählich gesteigert, und bis schließlich eine halbe Stunde lang so weit erhitzt wurde, daß der Boden des äußeren Tiegels gerade eben glühte; nachdem jetzt die Tiegel im evakuierten Exsikkator erkaltet waren, führte ich nach der oben angegebenen Zeit eine Wägung aus. In der Tat war der Inhalt des inneren Tiegels meist schon reinweiß, während sich an dem Deckel ein wohl sichtbarer, aber nicht wägbarer Beschlag konstatieren ließ, der bei dem weiteren Erhitzen zunahm, ohne daß das Gewicht sich änderte.

Die soeben beschriebene Art des Erhitzens und Wägens wurde solange wiederholt, bis drei aufeinander folgende Wägungen Gewichtskonstanz anzeigten; dann wurde die Temperatur noch um ein Geringes gesteigert, so daß das Tellurdioxyd geschmolzen war. Hierbei trat keine Gewichtsveränderung auf: durch Erhöhen der Temperatur hatte sich also kein Tellurdioxyd verflüchtigt!

---

[1]) Lieb. Ann. 319 (1901), 51.

Bei dieser Bestimmungsreihe erhielt ich folgende Resultate:

Angewandt gr Nitrat	Gefunden gr Tellurdioxyd	% TeO_2	Atom-gewicht
4,70704	3,92380	83,360	125,9
6,23210	5,20285	83,484	127,3
5,65043	4,71132	83,379	126,1
2,86977	2,39211	83,355	125,8
4,43213	3,69833	83,443	126,8
9,25691	7,73205	83,505	127,8
7,09070	5,91930	83,481	127,3
12,2400	10,22160	83,508	127,65

B. Reduktion des Tellurdioxydes mittels Wasserstoff.

Die Reduktion wurde nach dem Verfahren von L. Staudenmaier[1]), welches in der Zwischenzeit sowohl von G. Pellini[2]) als auch von K. Heberlein[3]) benutzt worden ist, bei Gegenwart von feinst verteiltem Silber und Quarzsand ausgeführt.

Das reine Silber gewann ich so, daß ich käufliches Silber in meiner reinsten Salpetersäure löste und die warme Lösung mit reinster, entsprechend verdünnter Salzsäure versetzte; das ausgeschiedene Chlorsilber wurde nach der üblichen Behandlung getrocknet und mit reinstem Natriumkarbonat gemengt auf der Kohle vor dem Gebläse zu metallischem Silber reduziert. Nachdem der erhaltene Regulus gereinigt, zerkleinert und in Salpetersäure gelöst war, wurde die filtrierte Lösung nach dem Verfahren von J. Stas, und zwar unter Anwendung der von L. Staudenmaier[4]) vorgeschlagenen Vereinfachung, durch frisch bereitetes Ammoniumsulfit bei Gegenwart frisch bereiteter ammoniakalischer Kupferlösung reduziert. Da das Silber sich hierbei in lockerem Zustande ausscheidet, konnte es bequem zunächst mit einer Lösung von Ammoniumsulfit, dann mit Ammoniak und schließlich mit reinem Wasser bis zur neutralen Reaktion ausgewaschen werden, wobei durch Schütteln des Kolbens für eine regelrechte Verteilung des Materials gesorgt wurde.

---

[1]) Zeitschr. anorg. Chem. 10 (1895), 199.
[2]) Ber. deutsch. chem. Ges. 34 (1901), 3307.
[3]) Inaug.-Dissert., Basel.
[4]) loc. cit.

Das Silber wurde in vorschriftsmäßiger Weise weiter behandelt und bis zu seiner Verwendung im Vakuumexsikkator über Phosphorpentoxyd aufbewahrt.

Den Quarzsand bereitete ich mir aus einem großen, wasserklaren Stück Bergkristall nach den Angaben L. Staudenmaiers[1]); auch dieses Material wurde wie das Silber aufbewahrt und erlitt gleich diesem im vollkommen trockenen Zustande keine Gewichtsveränderung, wenn es zunächst in Wasserstoffstrom und dann im Vakuum erhitzt wurde.

Die Reduktion selbst wurde folgendermaßen ausgeführt:

Das Tellurdioxyd wurde in ein Porzellanschiffchen eingewogen und mit Hilfe eines Platindrahtes, der dann in der Mischung verblieb, innig mit der acht- bis zehnfachen Menge des zur Bildung von Silbertellurid erforderlichen Silbers und mit einer genügenden Menge Quarzsand vermischt; schließlich wurde die Mischung noch mit Silber bedeckt.

Nachdem das Gewicht erneut durch doppelte Wägung bestimmt worden war, wurde das Schiffchen mit einem zweiten, nur mit Quarzsand und Silber beschickten, ebenso genau gewogenen Schiffchen und einer Silberspirale in das durch einen Glasschliff mit dem Gasentwicklungs- und Reinigungsapparate verbundene Reduktionsrohr eingeführt.

Der Wasserstoff wurde aus reinstem, arsenfreien mit Platinschnitzeln gemengten Zink mit chemisch reiner Schwefelsäure bereitet und nacheinander durch konzentrierte Kalilauge, Silbernitratlösung, Kaliumpermanganatlösung und chemisch reine, konzentrierte Schwefelsäure geleitet; er trat dann durch eine mit platiniertem Asbeste gefüllte Kugelröhre in ein langes, mit Kupferspiralen angefülltes, rotglühendes Rohr und wurde hierauf durch konzentrierte, chemisch reine Schwefelsäure und zuletzt durch Phosphorpentoxyd getrocknet.

Die Reduktion wurde zunächst im Luftbade bei 100° eingeleitet; dann wurde das Rohr auf 230° und über 270° auf 350° erhitzt, unter Wasserstoff erkalten gelassen und schließlich auf einem Verbrennungsofen nach und nach bis zur dunklen Rotglut erhitzt; dann ließ man das Rohr wieder langsam erkalten, während ein stärkerer Wasserstoffstrom durch den

---

[1]) loc. cit.

Apparat geleitet wurde, wog die Schiffchen und wiederholte den ganzen Prozeß so oft, bis das mit dem Tellurdioxyd beschickte Schiffchen Gewichtskonstanz angenommen hatte; dies wurde meist schon bei der dritten Wiederholung erreicht und das Schiffchen änderte dann sein Gewicht nicht mehr, selbst wenn die Temperatur weiter gesteigert wurde.

Sobald Gewichtskonstanz erreicht war, wurden beide Schiffchen in dem nun evakuierten Reduktionsrohre erhitzt; auch dieser Prozeß wurde so oft wiederholt, bis das Gewicht konstant blieb.

Das zweite, nur mit der Silber-Quarzsandmischung beschickte Schiffchen hatte sein Gewicht nicht verändert und ebenso blieb die vorgelegte, natürlich weniger hoch erhitzte Silberspirale blank: Ich erblicke in diesen Tatsachen ein erfreuliches Zeichen dafür, daß einerseits mein Silber und Quarzsand den erforderlichen Reinheitsgrad besaßen und daß andererseits nicht die geringste Spur von Tellur bei der Reduktion verflüchtigt wurde!

Was die Methode selbst anbetrifft, zeigen die Resultate, daß sie sehr zuverlässig ist; der einzige, von mir empfundene Mangel besteht darin, daß man durch die Größenverhältnisse der gebräuchlichen Porzellanschiffchen an ziemlich konstante Substanzmengen gebunden ist. Ich habe mir daher sehr große Schiffchen anfertigen lassen und mit Erfolg die Substanzmengen in gewissen Grenzen variieren können.

Bei dieser Bestimmungsreihe erhielt ich folgende Resultate:

Angewandt gr Tellurdioxyd	Gefunden gr Tellur	% TeO_2	Atomgewicht
2,99688	2,39585	79,944	127,55
1,30740	1,04527	79,950	127,60
2,04325	1,63380	79,955	127,68
2,61725	2,09249	79,949	127,59
3,61725	2,89222	79,956	127,65

C. Reduktion des Tellurdioxydes mittels Hydrazin.

Diese Methode, welche mir schon zur Ausführung meiner ersten Atomgewichtsbestimmung gedient hatte[1]), habe ich auch

[1]) Lieb. Ann. 320 (1902), 52.

jetzt wieder angewandt, nachdem ich mich während meiner Untersuchungen über das Tellur unausgesetzt von ihrer Exaktheit und Brauchbarkeit habe überzeugen können, und nachdem es mir dank der treuen Unterstützung seitens einiger Mitarbeiter gelungen ist, alle etwa auftretenden Fehlerquellen zu studieren und zu umgehen.

Meine diese Methode betreffenden Erfahrungen habe ich bereits in diesen Sitzungsberichten[1]) ausführlich publiziert; ich kann daher auf diese Abhandlung, in der ich mich besonders über die Oxydationserscheinungen des gefällten Tellurs ausgesprochen habe, verweisen und zur Beschreibung des diesmal angewandten Analysenganges übergehen.

Das Tellurdioxyd wurde in eine Platinschale[2]) eingewogen, welche mit dem fest schließenden Deckel verschlossen und auf ein nicht angeheiztes Wasserbad[3]) gestellt wurde; dann wurde die Substanz bei gewöhnlicher Temperatur in der nötigen Menge reinster, mäßig verdünnter Salzsäure gelöst.

Inzwischen stellte ich mir durch Zugabe der reinsten Salzsäure aus 50%igem reinen Hydrazinhydrat das Chlorhydrat der Base dar, welches in der genügenden Menge Wasser gelöst der klaren Tellurlösung in Portionen von 5 ccm am Ausguß der bedeckten Schale hinzugefügt wurde und zwar so, daß nach und nach der zehnfache Überschuß der theoretisch erforderlichen Menge zur Anwendung kam, und daß jedesmal die 5 ccm 25 Minuten lang auf die Tellurlösung einwirken konnten, ehe ein neuer Zusatz erfolgte; dann heizte ich das Wasserbad an, hielt die Temperatur 1 Stunde lang auf 50° und erhitzte hierauf weiter, bis schließlich abermals 1 Stunde lang das Wasser im lebhaften Sieden erhalten wurde: Unter diesen Bedingungen war jedesmal vollständige Reduktion eingetreten; das ausgeschiedene Tellur hatte sich glatt zu Boden gesetzt und die überstehende Flüssigkeit war vollkommen farblos!

Ein Vergleich zwischen der Beschreibung des von mir

---

[1]) 36, 130.

[2]) Diese war vorher ausgeglüht und in einem zu diesen Zwecken besonders konstruierten Trockenschranke unter Wasserstoff bei 105° bis zu konstantem Gewichte erhitzt.

[3]) Die Porzellanringe, auf welche die Schale gestellt wurde, waren mit den Streifen eines seidenen Tuches in vierfacher Lage umhüllt.

früher und jetzt angewandten Analysenganges zeigt, daß ich mich diesmal einer etwas veränderten Methode bedient habe, um zu möglichst einwandsfreien Resultaten zu gelangen; es mögen daher kurz die Gründe dargelegt werden, die mich zu dieser Änderung meiner Arbeitsweise bewogen haben. Ich hatte früher[1]) das Hydrazinhydrat selbst angewandt und dabei die unangenehme Erfahrung gemacht, daß eine geringe Menge von Tellur sowohl an dem Boden als an dem Deckel der Platinschale so fest anhaftete, daß sie durch Abspritzen mit Wasser nicht zu entfernen war; um dennoch einwandsfreie Resultate zu erhalten, hatte ich diese geringen Mengen dadurch zur Wägung gebracht, daß ich die Gewichtsvermehrung der bei 105° unter Wasserstoff erhitzten Platinschale bestimmte. Obwohl mir nun eine Reihe von sorgfältig ausgeführten Analysen, die ich zur Prüfung dieses Verfahrens erneut in der gleichen Weise angestellt habe, zeigten, daß diese Methode tatsächlich vorzüglich übereinstimmende Resultate liefert, habe ich mich dennoch bemüht, mein Verfahren so umzugestalten, daß ich eine, durch die genannten Erscheinungen vielleicht doch hervorgerufene Fehlerquelle mit absoluter Sicherheit ausschließen konnte. Ich habe dies nun auch wirklich dadurch erreicht, daß ich anstatt des ungeheuer energisch wirkenden Hydrazinhydrates das Chlorhydrat der Base anwandte, welches in der wässerigen Lösung zwar weniger rasch, aber auch genau so vollständig reduzierend wirkt.

Ich hatte also hiermit schon einen Erfolg; aber es machte sich immer noch die Behebung einer Schwierigkeit geltend, denn immer noch haftete eine geringe Menge Tellur sehr fest an der Schale, wenn das Reduktionsgemisch auf einem Asbestteller direkt über freier Flamme erhitzt wurde!

Durch einen kleinen Kunstgriff ist es mir aber doch gelungen, auch diesen Übelstand noch zu beseitigen: Wenn man nämlich das Reduktionsmittel zuerst bei gewöhnlicher Temperatur einwirken läßt, darauf den Schaleninhalt nach und nach auf dem Wasserbade erwärmt und schließlich, nachdem das Tellur sich zu Boden gesetzt hat, die Schale auf dem Asbestteller noch über freier Flamme bis zum Sieden der Flüssigkeit[2]) erhitzt,

[1]) Lieb. Ann. 320, 52.

[2]) Das Erhitzen des Schaleninhaltes darf wegen der etwa erfolgenden Bildung von kolloidalem Tellur niemals verabsäumt werden.

so setzt sich — allerdings nur dann, wenn die Temperatur sehr vorsichtig gesteigert wird — nicht die geringste Spur von Tellur an dem Boden der Schale fest, sondern die gesamte Menge läßt sich quantitativ in den Neubauer-Tiegel überführen[1]).

Auf Grund dieser Erfahrungen habe ich bei der vorliegenden Untersuchung die Reduktion auf diese Weise und mit dem schönsten Erfolge vorgenommen!

So wurde denn die bedeckte Platinschale, nachdem ich mich von der bei der Temperatur des siedenden Wasserbades erfolgten vollständigen Reduktion überzeugt hatte, auf einer Asbestplatte nach und nach bis zum Sieden der Flüssigkeit erhitzt; nach dem Erkalten gab ich noch einmal 5 ccm Hydrazinchlorhydratlösung hinzu und sah nach 25 Minuten nach, ob eine Färbung der über dem Niederschlage stehenden Flüssigkeit eingetreten war. Dies war bei keiner der mitgeteilten Analysen der Fall, denn ich hatte niemals versäumt, den Rand der Schale und auch den Deckel öfters mit Wasser abzuspritzen, also eine Maßregel zu treffen, welche meinen Erfahrungen[2]) nach äußerst wichtig ist und daher nicht vernachlässigt werden darf. Dann ließ ich nach nochmaligem Aufkochen soweit erkalten, bis ich die Schale bequem anfassen konnte, spritzte dann den Deckel, an dem sich nur bei der zweiten Analyse unter den von mir gewählten Bedingungen ganz minimale, leicht mit Wasser entfernbare Spuren von Tellur befanden, äußerst sorgfältig ab und filtrierte dann den Niederschlag durch einen auf folgende Weise präparierten Neubauer-Tiegel ab, indem ich die Wasserstrahlpumpe zunächst nur sehr langsam wirken ließ.

Der Tiegel war in dem durch nebenstehende Figur veranschaulichten Apparat unter folgenden Bedingungen getrocknet worden[3]): Er wurde auf die Siebplatte des Apparates gestellt,

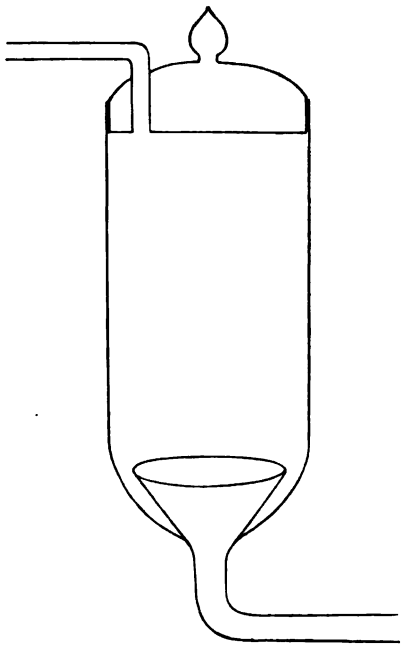
---

[1]) Vgl. hierzu auch A. Gutbier, G. Metzner und J. Lohmann; Zeitschr. f. anorg. Chem. 41, 291.

[2]) Lieb. Ann. 320, 52.

[3]) Ich habe mir diesen Apparat, welcher jetzt auf meine Veranlassung hin von der Firma Wagner und Munz in München sowohl in Glas als auch in jedem gewünschten Metall geliefert wird, aus einem großen, aus schwer schmelzbarem Glase bestehenden Wägeglase hergestellt, indem ich dieses in der Mitte durchschnitt und unten trichterförmig auszog; in die Öffnung des Trichters blies ich einen zweiten, kleinen Trichter an, auf dessen umgebogenen Rand eine mehrfach durchlöcherte Siebplatte

worauf dieser, mit dem Deckel verschlossen in den Trockenschrank übergeführt und mit dem oben beschriebenen Wasserstoffapparate verbunden wurde; nachdem der Tiegel so zunächst bei 105° bis zur Gewichtskonstanz erhitzt worden war, stellte ich den Wasserstoffstrom ab, evakuierte den Apparat sehr vorsichtig und erhitzte den Tiegel darin abermals bei 105° bis



zur Gewichtskonstanz, welche fast stets nach zweimaligem Erhitzen erhalten wurde.

---

aus Porzellan unbeweglich zu liegen kam. Da dieser Trockenapparat zum Erhitzen im Wasserstoffstrome geeignet sein mußte, öffnete ich den besonders gut eingeschliffenen Deckel und blies an dieser Stelle eine umgebogene Röhre an, während ich das Ende des zum Trichter ausgezogenen Glases ebenso auszog und dann im rechten Winkel umbog, so daß eine Gasleitungsröhre entstand. Durch einen aus Glasstäben zusammengeblasenen Dreifuß, der an einer Seite eine kreisrunde, zur Aufnahme des Gaszuleitungsrohres dienende Öffnung besaß, wurde der Apparat festgehalten, so daß er in meinen mit zwei an den beiden gegenüberliegenden Seiten in verschiedener Höhe angebrachten Öffnungen versehenen Trockenschrank, der innerlich mit Asbestplatten säuberlich verkleidet war, tadellos hineinpaßte.

In einem so vorbereiteten Tiegel[1]) filtrierte ich also das Tellur so ab, daß ich zuerst mit lauwarmem Wasser so lange dekantierte, bis dieses neutrale Reaktion angenommen hatte, und daß ich erst dann den Niederschlag auf den Tiegel brachte und sauber auswusch. Unter Einhaltung aller genannten Bedingungen hatte ich die Freude, zu sehen, daß jeder Tellurniederschlag vollständig aus der Schale in den Tiegel übergeführt werden konnte!

Nachdem nun der Niederschlag auf den Tiegel fest aufgesaugt worden war, stellte ich letzteren abermals in den Apparat ein und erhitzte im Wasserstoffstrom 20 Minuten lang auf 105°; dann ließ ich, wie immer, den erkalteten Tiegel im Phosphorpentoxyd-Exsikkator im Vakuum stehen und wog nach der angegebenen Zeit; dieser Prozeß wurde solange wiederholt, bis drei aufeinander folgende Wägungen Gewichtskonstanz anzeigten: dann wurde der Tiegel noch bis zu konstantem Gewichte im Vakuum bei 105° erhitzt.

Die Platinschale, in welcher die Reduktion vorgenommen worden war, wurde natürlich mit dem Filtrate und den vereinigten Waschwässern angefüllt und dann, mit 30 ccm einer 20%igen Hydrazinhydratlösung versetzt, zunächst auf dem Wasserbade und dann auf dem Asbestteller erhitzt, bis das Volumen der Flüssigkeit nur noch 25 ccm betrug. Es war mir eine große Genugtuung, konstatieren zu können, daß der Schaleninhalt sich hierbei nicht im geringsten färbte, oder daß gar eine Abscheidung erfolgte: Die Reduktion war also vollständig gelungen!

Trotzdem habe ich aber geglaubt, noch die beiden Proben anstellen zu müssen, welche mir zur Evidenz beweisen sollten, daß ich auf mein Verfahren unbedingtes Vertrauen haben könnte: Ich habe einerseits die bei dem Filtrieren sauber ausgewaschene Platinschale samt Deckel unter den gleichen Bedingungen wie vor der Reduktion erhitzt, ohne die geringste Gewichtszunahme konstatieren zu können, und andererseits habe ich noch jedesmal nach der letzten Wägung den Tiegelinhalt mit warmer Salzsäure übergossen, diese nach längerer Einwirkung abgesaugt

[1]) Es verdient hervorgehoben zu werden, daß ich stets mehrere solcher Tiegel im Vorrat hatte, aber unter den von mir gewählten Bedingungen niemals einen zweiten Tiegel zur Verwendung heranziehen mußte.

und näher untersucht: Die Säure blieb ungefärbt und lieferte auch bei dem Erhitzen mit überschüssigem Hydrazinhydrat nicht die geringste Färbung!

Auf Grund aller dieser von mir erhaltenen Resultate darf ich mit vollem Fug und Recht annehmen, daß ich bei der von mir angewandten großen Sorgfalt vollkommen einwandsfreie Resultate tatsächlich erhalten habe.

Die Atomgewichtsbestimmungen, welche ich unter Verwendung dieser Methode ausgeführt habe, lieferten folgendes Ergebnis:

Angewandt gr TeO_2	Gefunden gr Te	% Tellur	Atomgewicht
1,90601	1,52390	79,952	127,62
1,03532	0,82784	79,959	127,67
2,2200	1,77480	79,945	127,55

4. Diskussion der Resultate.

Im Laufe der vorliegenden Untersuchung habe ich also folgende Resultate erhalten:

A. Bei der Überführung des basischen Tellurnitrats in Tellurdioxyd: Te = 125,9; 127,3; 126,1; 125,8; 126,8; 127,8; 127,3; 127,65.

B. Bei der Reduktion des Tellurdioxydes mittels Wasserstoff: Te = 127,55; 127,60; 127,68; 127,59; 127,65.

C. Bei der Reduktion des Tellurdioxydes mittels Hydrazin: Te = 127,62; 127,67; 127,55.

Während der Mittelwert der acht unter A angegebenen Analysen 126,83 beträgt, ergeben die übrigen acht unter B und C angeführten Resultate den Mittelwert 127,61, eine Zahl, die mit den besten, von anderen Forschern erhaltenen Zahlen in guter Übereinstimmung ist.

Aus den schwankenden Resultaten der Versuchsreihe A folgt auch, daß diese Bestimmungen trotz aller angewandten Sorgfalt niemals mit den unter B und C ausgeführten Analysen verglichen werden können und daß mir die quantitative Überführung des basischen Tellurnitrates in Tellurdioxyd in keinem Falle exakt geglückt war.

Schon nach der zweiten Analyse, welche mir eine wesentlich höhere Zahl lieferte, begann ich mit einer außerordentlich sorgfältigen Untersuchung über die Zersetzung des basischen Tellurnitrats, nachdem die erste Annahme, die Verbindung sei vielleicht doch nicht ganz rein, auf Grund der oben mitgeteilten Versuche und erneuter Untersuchungen sich als irrig erwiesen hatte.

Zunächst fiel mir auf, daß das basische Tellurnitrat schon nach dem ersten Erwärmen über der kleinen, leuchtenden Flamme eine Gewichtsabnahme erlitten hatte, die bedeutend größer war, als sie im ganzen hätte sein dürfen! Ich stellte darauf den Tiegel so hoch, daß zwischen der 1 cm hohen leuchtenden Flamme und dem Boden des äußeren Tiegels 30 cm Zwischenraum waren; aber trotz dieser Vorsichtsmaßregel war auch jetzt noch eine viel zu große Gewichtsabnahme zu konstatieren, und dieselbe trat auch auf, als die Entfernung des äußeren Tiegels von der Flamme 40 cm betrug.

Da es ausgeschlossen war, daß Wägefehler — ich bestimmte ja das Gewicht jedesmal doppelt! — diese Differenz hervorrufen konnten, drang sich mir der Gedanke auf, daß bei dem ersten Erwärmen der Substanz, also bei dem Entfernen der Stickoxyde, schon eine geringe Spur von Tellurdioxyd mit verflüchtigt wurde. Diese Annahme war deshalb nicht von der Hand zu weisen, weil ich früher die Beobachtung gemacht hatte[1]), daß es nur sehr schwer möglich sei, aus dem Tellurdioxyde, ohne daß eine Verflüchtigung desselben stattfände, die Salpetersäure zu vertreiben. Zu dem gleichen Resultate war auch R. W. Emerson Mac Ivor[2]) gekommen, aber gegen diese Beobachtung sprachen die von P. Köthner[3]) ausgeführten Atomgewichtsbestimmungen und außerdem eine mir gewordene briefliche Äußerung des Herrn Prof. Dr. O. Brunck-Freiberg, welcher bei seinen Untersuchungen über das Tellur diese Erscheinung nicht hat auffinden können.

Eine sehr sorgfältige Untersuchung über diese hochwichtige Frage war daher unbedingt notwendig; ich habe eine solche mit Hilfe eines Apparates, den ich demnächst bei einer Mit-

---

[1]) „Studien über das Tellur" S. 47.

[2]) Chem. News. 87, 17 und 209.

[3]) Lieb. Ann. 319, 1.

teilung über das Atomgewicht des Wismutes ausführlich beschreiben werde, ausgeführt. Hier sei nur kurz erwähnt, daß dieser Apparat aus einem über die Tiegel eingesenkten Trichter besteht, welcher durch mehrere Kugelapparate — diese waren mit verdünnter Salzsäure bezw. mit Hydrazinchlorhydratlösung beschickt — in Verbindung mit einem Aspirator gebracht wird. Die bei dem Erwärmen und später bei dem Erhitzen der Analysensubstanz entwickelten Dämpfe wurden so in den Apparat quantitativ eingesaugt.

In keinem Falle ließ sich auch nur die geringste Spur von Tellur nachweisen, obwohl alle bekannten Reaktionen zum Nachweise etwa verflüchtigten Tellurdioxydes angestellt wurden.

Meine frühere Beobachtung muß daher wohl, ebenso wie diejenige des Herrn R. W. Emerson Mac Ivor auf einen Versuchsfehler zurückgeführt werden, und ich scheine, nachdem es mir im Gegensatze zu Herrn P. Köthner nicht gelungen ist, mit der genannten Methode einwandsfreie und übereinstimmende Resultate zu erhalten, auch bei der vorliegenden Untersuchung immer wieder einen und denselben Fehler gemacht zu haben, der mir aber, wie gesagt, trotz aller Mühe und Sorgfalt, die ich auf seine Eruierung anwandte, nicht bekannt werden sollte!

Ich muß daher auf alle Resultate, welche ich bei der Überführung von basischem Tellurnitrat in Tellurdioxyd erhielt, verzichten und wage auch nicht, die bei den Analysen 2, 6, 7 und 8 erhaltenen Zahlen weiter zu diskutieren. Allerdings könnte man mir vorhalten, daß ich gerade bei diesen Analysen relativ große Substanzmengen zur Verwendung gebracht habe; ich möchte demgegenüber aber nur anführen, daß ich auf alle Bestimmungen die gleiche, gründliche Sorgfalt verwendet habe, und daß ich persönlich zu den mit größeren Substanzmengen ausgeführten Analysen nicht das größere Zutrauen besitze als zu denjenigen, zu welchen geringere Mengen benutzt wurden!

Im Mittel aus den übrigen acht Bestimmungen ergibt sich für das Atomgewicht des Tellurs die Zahl 127,61.

Diese Resultate zeigen, daß das Tellur auch durch einen solchen energischen Reinigungsprozeß, wie ich ihn angewandt habe, nicht verändert worden ist: dem

Elemente ist also auch fernerhin das Atomgewicht 127,6 zuzuerkennen!

Was die von mir angewandten Methoden anbetrifft, so kann ich mich sehr kurz fassen.

Daß die von L. Staudenmaier[1]) ausgearbeitete Bestimmungsart, wenn sie vorschriftsmäßig angewandt wird, vortreffliche Resultate zeitigt, hat uns die Arbeit von G. Pellini[2]) zuerst gezeigt, und auch P. Köthner[3]) hat sich dahin geäußert, daß es ihm nicht notwendig erschienen ist, die Bestimmungen Staudenmaiers in Anbetracht der sicheren Arbeitsmethode nachzuprüfen; ich bin auf Grund meiner eigenen Versuche davon überzeugt, daß diese Bestimmungsmethode einen sehr großen Grad von Genauigkeit verbürgt.

So erblicke ich denn auch in den Resultaten meiner mittels Hydrazinchlorhydrat ausgeführten Bestimmungen eine äußerst wertvolle Bestätigung der von mir nach den Staudenmaierschen Verfahren erhaltenen Zahl, um so mehr, als ich redlich bemüht gewesen bin, mein Verfahren in einwandsfreier Weise auszugestalten.

5. Bemerkungen zu den Atomgewichtsbestimmungen des Herrn Kuno B. Heberlein.

Im Jahre 1898 ist eine Arbeit „Beiträge zur Kenntnis des Tellurs“ von K. B. Heberlein[4]) als Dissertation erschienen, auf welche erst B. Brauner aufmerksam gemacht hat, nachdem sie allen auf diesem Gebiete tätigen Forschern unbekannt geblieben war.

K. B. Heberlein hat sich ebenfalls auf umständliche und sorgfältige Weise reines Tellur dargestellt und bei seinen Atomgewichtsbestimmungen im Mittel von neun Analysen die Zahl 126,99 erhalten, die von dem Atomgewicht des Jodes also nur um 0,02 abweicht; P. Köthner[5]) hat inzwischen durch die spektralanalytische Untersuchung des Materials nachgewiesen,

---

[1]) Z. f. anorg. Chem. 10, 189.
[2]) loc. cit.
[3]) loc. cit.
[4]) Inaug.-Dissert., Basel 1898.
[5]) Zeitschr. f. anorg. Chem. 34 (1903), 403.

daß es den gleichen Reinheitsgrad besaß wie sein Präparat, welches ihm aus sieben in hervorragender Weise übereinstimmenden Zahlen den Wert 127,63 geliefert hatte.

Da nun die Arbeit des Herrn K. B. Heberlein in ihren experimentellen Ausführungen mit dem Ziele meiner eigenen Untersuchungen vieles gemeinsam hat, in ihren Resultaten aber zum großen Teile mit den meinigen nicht übereinstimmt, so sei es mir an dieser Stelle gestattet, einige Bemerkungen anzuknüpfen, mit denen ich die Unterschiede der beiderseitigen Forschungsergebnisse aufklären zu können glaube.

Herr K. B. Heberlein hat seine Atomgewichtsbestimmungen nach drei verschiedenen Methoden ausgeführt, und zwar 1. durch jodometrische Bestimmung der Tellursäure, 2. durch Überführung der Tellursäure in Tellurdioxyd und 3. durch Reduktion von Tellurdioxyd zu Tellur mittels Wasserstoff.

Die zu den Untersuchungen gebrauchte Tellursäure hat sich der genannte Forscher nach L. Staudenmaiers[1]) Methode dargestellt, meiner Überzeugung nach dabei aber einen Fehler begangen, der auch später in seinen Resultaten deutlich zum Ausdruck kommt. Er schreibt nämlich[2]): „... wurde die wässerige Lösung mit absolutem Alkohol gefällt, abermals gelöst, und die Tellursäurelösung, nachdem sie noch viermal aus ihrer heißen Lösung durch Abkühlung in Eis umkristallisiert worden war, der freien Kristallisation überlassen. Die schließlich erhaltenen Kristalle wurden zum größten Teile pulverisiert und im Vakuum über Phosphorpentoxyd getrocknet. Schon hier möge erwähnt werden, daß die für die Hauptatomgewichtsbestimmung zurückgehaltene Tellursäure nicht pulverisiert wurde, da dabei leicht durch Staub Verunreinigungen in die Substanz gelangen könnten."

Ich glaube, daß man durch freie Kristallisation der Tellursäure sehr leicht Verunreinigungen des Produktes, bedingt durch Mutterlaugeneinschlüsse, erhält, und meine Erfahrungen sprechen auch sehr für diese Annahme; ich habe bei meinen ersten Atomgewichtsbestimmungen[3]) meine Tellursäurelösungen über destillierter Schwefelsäure im Vakuum der gestörten Kristallisation

[1]) loc. cit.
[2]) loc. cit. S. 51 und 52.
[3]) Lieb. Ann. 320, 52.

überlassen und unter solchen Bedingungen reine und absolut klare, kleine Kristalle erhalten. Verfährt man dagegen so, wie es Herr K. B. Heberlein getan hat, so sind die Kristalle meist undurchsichtig und zu größeren Aggregaten vereinigt, die natürlich vor einem Einschluß von wechselnden Mengen Mutterlauge nicht zu bewahren sind. Ich habe, obwohl ich mit allen Kräften bestrebt war, diese Fehlerquellen auf ein Minimum herabzudrücken, bei den Wasserbestimmungen der Tellursäure[1]) recht unangenehme Erfahrungen gemacht und von einer großen Anzahl von Analysen nur einige wenige verwerten können!

In der Tat führt Herr K. B. Heberlein[2]) an, daß seiner Meinung nach selbst durch noch so feines Pulverisieren der Tellursäure nicht verhindert werden könne, daß dennoch Spuren von Mutterlauge eingeschlossen bleiben können; indessen darf und kann bei einer reinen Tellursäure, welche zu Atomgewichtsbestimmungen benützt wird und deshalb mit der größten Sorgfalt darzustellen ist, die Menge der etwa eingeschlossenen Mutterlauge nicht so bedeutend sein, daß das Atomgewicht des Tellurs um 0,9 Einheiten heruntergedrückt wird; ich glaube zu der Annahme berechtigt zu sein, daß die Resultate sicher einen höheren Wert angenommen haben würden, wenn die Tellursäure anders — etwa in der oben angedeuteten Weise — behandelt worden wäre, und daß somit die Differenzen, welche diese Werte gegenüber denjenigen anderer Forscher zeigen, genügend aufgeklärt sein dürften!

Es ist hierzu nur noch eine allerdings leicht entschuldbare Behauptung des Herrn K. B. Heberlein zu widerlegen, welcher schreibt[3]): „Es sei mir hier gestattet, eine Beobachtung zu erwähnen, welche Staudenmaier beim Fällen der Tellursäure machte. Er fand nämlich, daß dabei neben den gewöhnlichen monoklinen Kristallen auch reguläre Kristalle in geringerer Anzahl auftreten, welche durch vorhandene Chromsäure gelb gefärbt erschienen und mit Bleinitrat eine große Ähnlichkeit besaßen. Ich habe mir viele Mühe gegeben, diese dimorphe Form der Tellursäure zu erhalten, aber meine unter den ver-

---

[1]) loc. cit.
[2]) loc. cit. S. 76.
[3]) loc. cit. S. 52 und 53.

schiedenartigsten Bedingungen ausgeführten Versuche führten nicht zu denselben."

„Staudenmaier gibt nun aber selbst an, daß er zur Darstellung seiner Tellursäure ein einmal durch schwefliche Säure gefälltes Tellur verwandte, welches noch ca. 20% Verunreinigungen, namentlich Blei, Wismut, Kupfer und Antimon enthielt. Fällt man aber die aus einem so unreinem Ausgangsmaterial hergestellte Tellursäure durch konzentrierte Salpetersäure, so scheidet sich nach meiner Erfahrung das in konzentrierter Salpetersäure so schwer lösliche Bleinitrat aus, dessen Oktaëder an dem starken Lichtbrechungsvermögen leicht zu erkennen sind. Es wäre jedenfalls eine seltene Erscheinung, wenn ein und dieselbe Substanz unter genau den nämlichen Bedingungen in zwei so grundverschiedenen Formen entstehen würde, wie das nach Staudenmaier bei der Tellursäure der Fall sein soll."

„Sollte Staudenmaier mit der Tellursäure jedoch Bleinitrat abgeschieden haben, was, wie schon erwähnt, bei dem bleihaltigen Produkte nicht ausgeschlossen ist, so würde das Blei durch die spätere häufige Umkristallisation aus Wasser wahrscheinlich doch in Form des unlöslichen Bleitellurates entfernt worden sein. Aus diesem Grunde wage ich an der Reinheit der Staudenmaierschen Tellursäure nicht zu zweifeln. Ich möchte diesen Umstand jedoch nicht unerwähnt lassen, da Staudenmaier seine Tellursäure zu eingehenden Untersuchungen über das Atomgewicht des Tellurs benützte."

Für diese Ansicht Heberleins läßt sich in der hervorragenden Arbeit Staudenmaiers auch nicht der geringste Anhaltspunkt finden und tatsächlich hat die Richtigkeit der Angaben Staudenmaiers nur immer wieder bestätigt werden können! Nachdem nämlich L. Staudenmaier[1]) gefunden hatte, daß die Tellursäure in zwei Modifikationen, einer hexagonalen und einer kubischen, existiert, habe ich[2]) mehrmals darauf hingewiesen, daß ich die gleichen Beobachtungen gemacht habe; meine Angaben wurden dann durch Herrn O. Brunck[3]), der

[1]) loc. cit.

[2]) Ber. deutsch. chem. Ges. 34, 214. Zeitschr. f. anorg. Chem. 22, 26. Studien über das Tellur S. 42.

[3]) Ber. deutsch. chem. Ges. 34, 2735.

einige Messungen von A. Weißbach mitgeteilt hat, im vollsten Maße bestätigt.

Da mir leider die Zeit dazu fehlte, eine beabsichtigte eingehende Untersuchung über diese Frage anzustellen, hat Herr Dr. B. Goßner[1]) in München die große Liebenswürdigkeit gehabt, diese Untersuchung an verschiedenen Fraktionen der von mir zu meinen ersten Atomgewichtsbestimmungen verwendeten Tellursäure auszuführen, deren Resultate ich wegen der großen Bedeutung dieser Frage hier in kurzem Auszuge anführen möchte.

Es ergab sich zunächst, daß die Tellursäure in der Tat in zwei Modifikationen — α und β — existiert, doch zeigte die kristallographische Untersuchung, daß die Resultate z. T. von den bisherigen Beobachtungen abweichen, da nämlich folgendes gefunden wurde:

1. α-Modifikation, vom spezifischen Gewichte 3,053, scheidet sich aus einer Lösung der Tellursäure in heißer Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,32 neben der β-Modifikation ab, die mit zunehmender Konzentration zurücktritt, bis sich schließlich nur noch die α-Modifikation ausscheidet.

Kristallsystem: Kubisch. Einfachbrechende kleine Oktaëder. Spaltbarkeit war wegen der Kleinheit der Kristalle, die der Analyse nach der Formel H_6TeO_6 entsprachen, nicht nachzuweisen.

2. β-Modifikation, vom spezifischen Gewicht 3,071, bildet sich bei dem langsamen Verdunsten einer wässrigen Lösung von Tellursäure in trüben Kristallen, während schöne klare Kristalle bei dem Abkühlen aus verdünnter, warmer Salpetersäure erhalten wurden.

Kristallsystem: Monoklin-prismatisch: $a : b : c = 0{,}6104 : 1 : 0{,}5206$; $\beta = 104^\circ 30'$. Beobachtete Formen: m {110}, b {010}, q {011}, ϱ {101}; die Kristalle sind prismatisch nach der c-Axe, treten immer als Zwillinge und Drillinge nach {110} auf und entsprechen ebenfalls der Formel H_6TeO_6. Spaltbarkeit deutlich nach {010}.

Eine Umwandlung der monoklinen in die reguläre Modifikation konnte selbst bei dem Erwärmen auf 130° nicht beobachtet

---

[1]) Zeitschr. f. Krist. und Mineral. 38, 499.

werden, während die Umwandlung der kubischen in die monokline Form in Lösung konstatiert wurde.

Durch diese sorgfältige Untersuchung des Herrn Dr. B. Goßner dürfte die oben angedeutete Frage in befriedigender Weise erklärt und die irrige Annahme des Herrn K. B. Heberlein endgültig erledigt sein; wie es allerdings möglich gewesen ist, daß Herr K. B. Heberlein die zweite Modifikation, die wir ständig beobachtet haben, trotz vieler Mühe nicht hat gewinnen können, wage ich nicht zu entscheiden.

Herr Kuno B. Heberlein hat als zweite Methode seiner Atomgewichtsbestimmungen die jodometrische Bestimmung der Tellursäure unter der Benützung von Salzsäure in dem einfachen Bunsenschen Apparate angewandt und das in der Vorlage ausgeschiedene Jod mit „einer nach verschiedenen Methoden aufs genaueste eingestellten $^1/_{10}$-Normal-Thiosulfatlösung“ zurücktitriert, wobei „durch eine Reihe von blinden Versuchen festgestellt worden war, daß unter den eingehaltenen Versuchsbedingungen stets 0,01 ccm Thiosulfat in Abrechnung zu bringen waren“ [1]). Als Mittel von fünf Bestimmungen wurde für das Atomgewicht des Tellurs die Zahl 127,24 gewonnen.

In Gemeinschaft mit Herrn Dr. F. Resenscheck habe ich nun zufälligerweise zu einer Zeit, wo mir die jetzt öfters zitierte Arbeit noch nicht bekannt war, eine „Untersuchung über die jodometrische Bestimmung der Tellursäure“ ausgeführt, welche ich in diesen Sitzungsberichten [2]) bereits publiziert habe, und aus der hervorgeht, daß bessere als die von uns mitgeteilten Resultate nach der von K. Heberlein angegebenen Methode aus folgenden Gründen nicht zu erhalten sind.

Es kann leicht eine geringe Menge von Chlor entweichen, wenn man nicht gutgekühlte Salzsäure verwendet und den Kolben nach dem Einfüllen der Salzsäure mit dem Apparate rasch verbindet; diese Fehlerquelle läßt sich aber leicht vollständig ausschließen: man braucht nur das Destillationskölbchen mit einem eingeschliffenen Glasstöpfel zu versehen, in den einerseits das Gasableitungsrohr, andererseits ein kleiner, mit einem Hahn verschließbarer Tropftrichter eingeschmolzen ist, durch

[1]) loc. cit. S. 68.

[2]) Sitzungsber. d. phys.-med. Sozietät in Erlangen 36, 138.

den man bei zusammengesetztem Apparate die zur Reduktion notwendige Menge Salzsäure zutropfen lassen kann.

Die Hauptfehlerquelle besteht aber darin, daß es auf die beschriebene Weise niemals gelingt, die gesamte Menge des entwickelten Chlors aus dem Destillationskölbchen herausbringen zu können! Wir haben, wenn wir nach den Angaben von K. B. Heberlein arbeiteten und somit nur die Hälfte der Salzsäure abdestillierten, jedesmal in dem Destillationskölbchen schon durch den Geruch Chlor nachweisen können, und auch dann war stets noch Chlor im Rückstande aufzufinden, wenn der Kolbeninhalt bis fast zur Trockene abgedampft worden war. Auch die Fehlerquelle, welche das Resultat natürlich stark beeinflußt, kann leicht umgangen werden: man hat nur nötig, die Reduktion in einem Kohlensäurestrome auszuführen, wie es F. A. Gooch und J. Howland[1]) getan haben.

Da Herr K. B. Heberlein auf diese beiden Fehlerquellen keine Rücksicht genommen hat, dürften die Differenzen hierauf zurückzuführen sein!

Auch bei der dritten Bestimmungsreihe, welche Herr K. B. Heberlein nach dem Verfahren von L. Staudenmaier ausgeführt hat, ist mir ein Fehler aufgefallen, durch welchen die niedrige Zahl bedingt sein dürfte.

Das Tellurdioxyd, in einwandsfreier Weise dargestellt, wurde mit Stasschem Silber gemengt in einem Platinschiffchen durch Wasserstoff reduziert, und zwar zunächst bei der gleichen Temperatur, wie sie von L. Staudenmaier, G. Pellini und mir angewandt worden ist; doch hat Heberlein die merkwürdige Beobachtung gemacht, daß das vorgeschriebene „kurze Erhitzen zur Rotglut" keineswegs genügt, um Gewichtskonstanz zu erreichen, sondern daß er „die Temperatur schließlich oft stundenlang bei heller Rotglut" erhalten habe.

Es muß nun auffallen, daß Herr K. B. Heberlein, obwohl er nach L. Staudenmaiers Methode gearbeitet zu haben angibt, einen zum Gelingen des Verfahrens unbedingt notwendigen Faktor vollständig außer acht gelassen hat: Er hat nämlich ganz vergessen, der Tellurdioxyd-Silbermischung Quarzsand zuzumengen!

---

[1]) loc. cit.

L. Staudenmaier[1]) schildert mit folgenden Worten, warum er Quarzsand mit beigemengt hat: „Da das fein verteilte Silber schon bei ziemlich niedriger Temperatur zusammensintert, so konnte möglicherweise unverändertes Tellurdioxyd eingeschlossen sein. Dieses kann man offenbar leicht dadurch verhindern, daß man der angegebenen Mischung noch Quarzsand zufügt.“ Hiermit ist die große Rolle, welche der Quarzsand spielt, genügend charakterisiert, und Herr K. B. Heberlein hätte unbedingt angeben müssen, warum er das Tellurdioxyd mit Silber allein gemengt hat!

Da nun einerseits durch dieses Versehen die nicht ganz vollständige Reduktion des Tellurdioxydes begünstigt wurde, andererseits aber von Herrn Heberlein ein bedeutend zu niedriges Atomgewicht erhalten worden ist, kann man nur annehmen, daß entweder das verwendete Silber nicht ganz trocken gewesen ist, oder daß — was bei dem stundenlang fortgesetzten Erhitzen auf helle Rotglut noch wahrscheinlicher ist — mechanische Verluste eingetreten sind, denen nicht weiter nachgeforscht wurde[2]).

Ich hoffe, daß diese unparteiische Besprechung der Heberleinschen Arbeit, die ja leicht wieder Verwirrung hervorrufen könnte, dazu beitragen wird, daß der Ausspruch des Herrn P. Köthner: „Einstweilen wird man gut tun, sich über diesen niedrigen Wert Heberleins nicht allzusehr zu beunruhigen“ weiterhin gebührend beobachtet werden wird!

---

[1]) loc. cit. S. 199.

[2]) Herr P. Köthner hat schon — Lieb. Ann. 319, 54 — darauf aufmerksam gemacht, daß L. Staudenmaier versäumt hat, sein Schiffchen nochmals im Vakuum zu erhitzen; denselben Fehler hat übrigens auch K. B. Heberlein begangen.

Die Erzeugung sehr weicher Röntgenstrahlen.

Von A. Wehnelt und W. Trenkle.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Eingereicht am 16. November 1905.

In einer im Jahre 1898 veröffentlichten Arbeit über den dunklen Kathodenraum wies der eine[1]) von uns nach, daß das geringste zur Erzeugung von Röntgenstrahlen notwendige Potential keineswegs 100000 Volt beträgt, wie Herr J. Trowbridge angenommen hatte, sondern, daß unter geeigneten Versuchsbedingungen bereits bei sehr viel geringeren Entladungspotentialen Röntgenstrahlen entstehen, die so intensiv sind, daß sie den Baryumplatincyanürschirm zum hellen Leuchten erregen.

Das Röntgenrohr[2]), welches zu diesen Versuchen diente, hatte außerordentlich kleine Abmessungen. Antikathode und Kathode standen nur etwa 5 cm voneinander entfernt. Die Kathode bestand aus einem kleinen Aluminiumhohlspiegel, die Antikathode aus einer sehr kleinen, unter 45° zur Rohrachse geneigten Platinplatte, deren Zuführungsdraht ganz in Glas gehüllt war.

Die Röntgenstrahlen traten durch ein etwa 0,2 mm dickes Aluminiumblech, welches auf einen kurzen Rohrstutzen gekittet war, aus dem Rohre aus.

Als Stromquelle diente eine 20plattige Influenzmaschine, die aus Bewilligungen des Elisabeth Thompson Fund in Boston angeschafft war. Die Entladungspotentiale wurden mit einem Funkenmikrometer gemessen. Die Strahlen wurden auf einem Baryumplatincyanürschirm beobachtet.

---

[1]) A. Wehnelt, Wied. Ann. 65, S. 537—539. 1898.

[2]) a. a. O., S. 538.

Der Versuch ergab, daß mit dieser Röhre herunter bis zu Potentialen von 7000 Volt Röntgenstrahlen mit dem Schirme nachweisbar waren. Bedenkt man, daß die Strahlen ein Aluminiumblech von 0,2 mm Dicke und dann noch das Kartonpapier des Schirmes zu durchdringen hatte, so kann man daraus den Schluß ziehen, daß man unter geeigneten Versuchsbedingungen Röntgenstrahlen bei sehr viel niedrigeren Entladungspotentialen wird nachweisen können, ja daß überhaupt stets Röntgenstrahlen entstehen, sobald ein Elektron mit einer von Null verschiedenen Geschwindigkeit die Antikathode trifft.

In dieser Arbeit wurde des weiteren gefunden, daß ein in der Nähe der Röntgenröhre befindlicher Kohärer stets ansprach, sobald die erste Spur von Röntgenstrahlen auftrat. Es wurde hieraus der Schluß gezogen, daß zur Erzeugung von Röntgenstrahlen disruptive schnell gedämpfte Schwingungen nötig seien.

Ist dieser Schluß richtig, so dürfen Kathodenstrahlen, die durch völlig kontinuierliche Ströme erzeugt werden, keine Röntgenstrahlen liefern.

Nun hat Herr Seitz[1]) neuerdings Versuche zur Bestimmung der unteren Grenze des noch Röntgenstrahlen erzeugenden Entladungspotentiales angestellt. Er benutzt dazu eine Röhre, deren Anordnung im wesentlichen identisch ist mit der oben angegebenen, nur treten die Röntgenstrahlen aus einem kleineren Fenster aus, welches mit sehr dünner Aluminiumfolie verschlossen ist. Da die Luft weiche Röntgenstrahlen stark absorbiert, so evakuierte Herr Seitz auch den Raum hinter dem Fenster, in dem sich die photographische Platte befindet. Er findet mit dieser Anordnung Röntgenstrahlen bis zu 600 Volt herab.

Herr Seitz benutzt zu seinen Versuchen Influenzmaschine, Induktorium oder Hochspannungsgleichstrommaschine. Ob diese Stromquellen aber völlig kontinuierlichen Strom gewährleisten, mag noch dahingestellt bleiben. Herr Seitz gibt nicht an, ob der von ihm benutzte Strom völlig kontinuierlich war oder nicht.

Sowie aber Diskontinuitäten in der Entladung vorhanden sind, können durch Induktion im Rohre selbst sehr viel höhere Potentiale entstehen, als die von Elektrometern oder auch Funkenstrecken angegebenen.

---

[1]) W. Seitz, Phys. Zeitschr. 6, S. 756—758. 1900.

Sicher kontinuierliche Ströme sind wohl unseren heutigen Kenntnissen nach nur mit einer Hochspannungsakkumulatorenbatterie zu erzeugen.

Zu den im folgenden beschriebenen Versuchen, Röntgenstrahlen durch völlig kontinuierlichen Gleichstrom zu erzeugen, wurde daher stets der Strom einer Hochspannungsbatterie von etwa 2000 Volt Spannung benutzt. Die Kontinuität des Stromes wurde mit einem Telephon geprüft. Da die Versuchsanordnung wesentlich von der von Herrn Seitz benutzten abweicht, so mögen die Versuche hier kurz beschrieben werden.

Sehr intensive Kathodenstrahlen bei völlig kontinuierlichen Strömen erhält man wie der eine[1]) von uns gezeigt hat, bei Anwendung glühender, mit Metalloxyden überzogener Kathoden. Durch Wahl der Temperatur der Oxydkathode, wie wir sie kurz nennen wollen, und durch Wahl der Stromstärke kann man Kathodenstrahlen von den niedrigsten, etwa 1 Volt entsprechenden Geschwindigkeiten bis zu solchen. die einigen Tausend Volt entsprechen, erhalten. Diese relativ langsamen Strahlen führen beträchtliche Elektrizitätsmengen[2]) mit sich und erregen starke Fluoreszenz[3]).

Diese relativ langsamen, aber sehr intensiven Kathodenstrahlen ließen wir auf eine Antikathode aus Tantalblech fallen. Ein der Antikathode gegenüberstehender Seitentubus an dem die Elektroden enthaltenden Rohre war mit einem kreisrunden Fenster von 10 mm Öffnung versehen, auf das ein Aluminiumblech von 0,04 mm Dicke aufgekittet war. Zum Nachweis der etwa von der Antikathode ausgehenden Röntgenstrahlen wurde in einem Abstande von zirka 6 mm vom Aluminiumfenster eine photographische Platte angebracht. Es lag also zwischen Ausgangspunkt der Röntgenstrahlen und Platte eine Strecke von 5 cm im Vakuum, das Aluminiumblech und eine 6 mm dicke Luftschicht.

Bei einem Entladungspotential des Rohres von 1600 Volt wurde nach einer Expositionsdauer von 5 Minuten bereits eine starke Schwärzung auf der Platte erhalten, die eine genaue Abbildung der Form des Fensters gab, welches durch die Kittung eine etwas unregelmäßige Form erhalten hatte. Würden

[1]) A. Wehnelt, Ann. d. Physik (4), 14, S. 458—468, 1904.
[2]) a. a. O., S. 460.
[3])a. a. O., S. 461.

außer den Röntgenstrahlen noch Kathodenstrahlen durch das Aluminiumblech hindurchgedrungen sein, so müßte der Fleck auf der 6 mm vom Fenster entfernten Platte infolge der diffusen Zerstreuung der Kathodenstrahlen unscharfe Ränder haben. Dies war aber, wie bereits bemerkt, nicht der Fall.

Weitere Versuche mit demselben 0,04 mm dicken Aluminiumblech ergaben, daß noch bei 1000 Volt Entladungspotential und 25 Minuten Belichtung Röntgenstrahlen nachweisbar waren. Hierauf wurde bei demselben Rohr statt des großen Fensters ein Fenster von 2 mm Öffnung, das mit einer 0,004 mm dicken Aluminiumfolie bedeckt war, benutzt. Die photographische Platte befand sich wieder 6 mm von dem Fenster entfernt. Bei einem Entladungspotential von **400 Volt** wurde bei einer Belichtungsdauer von 90 Minuten eine recht kräftige Schwärzung der Platte erzielt. Die Form des auf der Platte erschienenen Fleckes war wieder ein geometrisches Abbild der Fensteröffnung, so daß auch hier die Schwärzung sicher durch Röntgenstrahlen und nicht durch Kathodenstrahlen veranlaßt ist.

Letzter Versuch zeigt übrigens, daß auch hiermit noch keineswegs die unterste Grenze desjenigen Entladungspotentiales erreicht ist, bei der noch Röntgenstrahlen entstehen. Wir sind überzeugt, daß jedes Kathodenstrahlenteilchen, wenn es überhaupt noch mit einer von Null verschiedenen Geschwindigkeit auf einen Körper fällt, zu einer Röntgenstrahlung Veranlassung gibt.

Versuche, die Intensität der Kathodenstrahlen durch geeignete Anordnungen noch weiter zu erhöhen, mit denen wir jetzt beschäftigt sind, sollen uns die Möglichkeit verschaffen, weiche Röntgenstrahlen von großer Intensität zu erzeugen, die in der Medizin mancher Anwendung fähig sind. Ferner werden wir Versuche anstellen, ob auch Kathodenstrahlen, die nur wenige Volt Spannungsdifferenz durchlaufen, noch Röntgenstrahlen erzeugen.

Erlangen, Physikal. Institut der Universität, November 1905.

Über Radiotellur.

Von Ferdinand Henrich.

Vorgetragen in der Sitzung vom 16 November, mit Demonstration eines Präparats.

Durch die Liebenswürdigkeit eines Bekannten wurde mir leihweise ein Präparat von Radiotellur zur Verfügung gestellt. Ich möchte es Ihnen in seinen Eigenschaften demonstrieren. Sie sehen hier eine Kupferplatte von der Form und Größe eines Talerstückes. Auf der polierten Seite ist etwa $^1/_{100}$ mg Radiotellur in einer Weise aufgetragen, die ich Ihnen später mitteilen werde. Des Vergleiches wegen habe ich noch ein Präparat von 4 mg Radiumbromid mitgebracht, das Sie hier sehen. Um die Erscheinungen gut zu sehen, müssen wir den Hörsaal verdunkeln, und bis sich Ihre Augen an die Dunkelheit gewöhnt haben, will ich Ihnen die Geschichte des Radiotellurs erzählen.

Als man gefunden hatte, daß Uranpecherz stärker radioaktiv ist als Uran, vermutete man neue, bisher unbekannte selbststrahlende Elemente darin, und das Ehepaar P. und S. Curie machte sich an die Arbeit, diese Bestandteile aufzufinden. Im Jahre 1898 hatte es festgestellt, daß bei dem Baryum und dem Wismut aus Pechblende stark radioaktive Substanzen bleiben. Von diesem Baryum gelang es, nachdem sehr große Mengen von Pechblende verarbeitet waren, ein neues Element, das Radium, abzutrennen, die radioaktive Beimengung des Wismuts konnte nur mäßig stark angereichert werden. Frau Curie vermutete auch hier ein neues Element und nannte es ihrem Vaterlande zu Ehren Polonium.

Vom Radium unterschied sich Polonium (besser gesagt poloniumhaltiges Wismut) bald in charakteristischer Weise.

Während die Aktivität frisch dargestellter Radiumpräparate anfänglich stark zunahm, um dann konstant zu werden, beobachtete Giesel, daß Polonium seine Aktivität im Verlauf mehrerer Monate mehr und mehr verlor, um sie schließlich fast ganz einzubüßen. Frau Curies Präparat zeigte, wenn auch langsamer, die gleiche Erscheinung, und daraufhin sprach Giesel die Vermutung aus, daß Polonium nichts anders als induziert aktives Wismut ist.

Nun untersuchte Marckwald im Jahre 1902 einige Kilogr. eines Abfallproduktes der Uranpecherzverarbeitung. Sie waren nach dem Aufschließen von Joachimsthaler Pechblende mit konzentrierter Schwefelsäure und Auslaugen mit Wasser übrig geblieben. Dieser Rückstand war verhältnismäßig reich an Wismut. Marckwald schied es als Wismutoxychlorid daraus ab und fand es nicht nur sehr stark aktiv, sondern auch höchst beständig in seiner Aktivität. Nach Verlauf von mehreren Monaten war eine Abnahme der Aktivität nicht zu konstatieren.

Wenn nun, so kalkulierte Marckwald, ein dem Wismut beigemengtes Metall die Aktivität hervorruft, so müssen beide eine elektrische Potentialdifferenz zeigen. Bei der Elektrolyse müßte dann in dem zuerst sich Ausscheidenden der eine Bestandteil stärker angereichert sein als der andere. Ein Versuch ergab, daß das zuerst abgeschiedene Material viel stärker radioaktiv war als das Ausgangsmaterial. Indem nun Marckwald ein Wismutstäbchen in die Chloridlösung eintauchte, konnte er die Ionen des radioaktiven Metalls durch Wismutionen ersetzen und so das radioaktive Prinzip abscheiden. Es schlug sich als ein schwarzer Anflug auf dem Stäbchen nieder. Aus den Rückständen einer Tonne Pechblende entstanden 0,005 g des schwarzen Anflugs, der indessen den radioaktiven Bestandteil noch keineswegs in reinem Zustand enthielt. Bald stellte es sich heraus, daß auch das Antimon den radioaktiven Körper abzuscheiden vermag und daß dieser in seinem chemischen Verhalten dem Tellur näher steht als dem Wismut. Darum nannte Marckwald diesen radioaktiven Bestandteil der Pechblende Radiotellur.

Jenes schwarze Pulver zeigte nun höchst überraschende Wirkungen. Auf einen Dezimeter einem geladenen Elektroskop genähert, schlugen die Blättchen im Augenblick zusammen, ja,

ein kräftig geriebener Guttaperchastab wurde durch die bloße Annäherung des Präparates sofort völlig entladen. Aber schon ein Blatt Filtrierpapier vermochte diese Wirkung aufzuheben, wenn das Pulver darin eingewickelt wurde.

Wie schon mitgeteilt, war jenes Pulver noch nicht rein. Außer Spuren von Wismut und Selen enthielt es vorzugsweise Tellur. Nun stellte es sich heraus, daß das Radiotellur besser als durch Wismut mit Hilfe von Zinnchlorür aus den Lösungen niedergeschlagen werde. Aber auch hier waren noch obige Verunreinigungen in beträchtlicher Menge vorhanden, und um sie zu entfernen, fand Marckwald zwei Wege.

1. Der Niederschlag mit Zinnchlorür wurde in Salpetersäure gelöst, mit Salzsäure mehrmals eingedampft, der Rückstand in verdünnter Salzsäure gelöst und diese Lösung mit salzsaurem Hydrazin versetzt. Der entstehende Niederschlag von neuem in angegebener Weise gelöst und gefällt, bestand nunmehr aus fast inaktivem Tellur. Aus dem Filtrate dieser Fällung konnte der aktive Bestandteil mit Zinnchlorür zum größten Teil abgeschieden werden.

2. Wieder wurde der Zinnchlorürniederschlag durch Salpetersäure und Salzsäure in Lösung gebracht und in die verdünnte salzsaure Lösung schweflige Säure eingeleitet. Hierbei zeigte es sich, daß zuerst vorzugsweise Selen, dann Tellur und zuletzt erst Radiotellur abgeschieden wird. Schon wegen dieser sukzessiven Reduktion ließe sich das Radiotellur bequem in der unteren rechten Reihe der sechsten Gruppe des periodischen Systems unterbringen. Aber noch eine andere Eigenschaft deutet auf diese Stelle. Während schweflige Säure ausgesprochen saure Eigenschaften besitzt, sind diese bei seleniger Säure noch deutlich, aber bereits schwächer vorhanden. Tellurige Säure ist aber eine so schwach saure Verbindung, daß sie kein beständiges Ammoniumsalz mehr bilden kann und nur in überschüssigem Ammoniak löslich ist. Vom Oxyde des Radiotellurs war deshalb zu erwarten, daß ihm saure Eigenschaften völlig fehlen, das ist in der Tat der Fall, und vermöge dieser Eigenschaft gelang es, Radiotelluroxyd von seleniger und telluriger Säure zu trennen. Der mit schwefliger Säure ausgeschiedene Niederschlag wurde in Salpetersäure gelöst, die Lösung eingedampft und mit überschüssigem Ammoniak versetzt. Es ging

fast alles bis auf einen geringfügigen Rückstand in Lösung, der eben aus Radiotelluroxyd bestand. Aus 15 Tonnen Pechblende waren 3 mg Radiotelluroxyd gewonnen worden. Bei dieser Menge ist Garantie für völlige Reinheit natürlich noch nicht gegeben und an eine Atomgewichtsbestimmung war noch nicht zu denken.

Sind wir nun berechtigt, im Radiotellur ein neues Element zu vermuten? Wir sahen, daß das nach der Stellung im periodischen System bereits einige Wahrscheinlichkeit hat. Zu ziemlicher Sicherheit wird aber diese Vermutung dadurch, daß die Abklingung, wie es für einheitliche radioaktive Körper zu erwarten ist, der Formel der monomolekularen Reaktionen folgt. In der Formel:

$$\frac{I_t}{I_o} = e^{-\lambda t}$$

ist $\lambda = 0{,}004959$, wenn t in Tagen gerechnet wird. Darnach sinkt die Intensität der Aktivität in 139,8 Tagen auf die Hälfte.

Wie Radium unterliegt auch Radiotellur einer allmählichen Zersetzung, und aus obigen Werten folgt, daß die Lebensdauer eines Radiotelluratoms 201,7 Tage beträgt, eine neue Bestätigung der sogenannten Desaggregationstheorie von Rutherford und Soddy, nach der ein Element desto schneller seine Wirksamkeit schwächen muß, je stärker diese ist.

Diese Kupferplatte mit dem $^1/_{100}$ mg Radiotellur wurde nun folgendermaßen präpariert. Der Zinnchlorürniederschlag wurde in verdünnter Salpetersäure gelöst, mit Salzsäure mehrmals eingedampft und in die Lösung des Chlorids die eine Seite der Kupferplatte eingetaucht. Dann schied sich hierauf das radioaktive Metall aus und wurde durch Polieren jener Seite darauf befestigt.

Das Radium sendet bekanntlich sowohl α-, als auch β- und γ-Strahlen aus. Die letzteren beiden dringen durch Metalle und andere undurchsichtige Medien durch, und Sie sehen, wie man mit diesen 4 mg Radiumbromid leicht eine 1 cm dicke Eisenplatte durchleuchten kann. Radiotellur sendet fast nur α-Strahlen aus, und diese lassen sich besonders schön durch Sidotsche Blende (hexagonales Schwefelzink) nachweisen. Sie sehen, wie ein breiter Lichtschein auf der Blende sichtbar wird, wenn ich die aktive Seite der Kupferplatte auf 2—3 cm

nähere. Drehe ich die Kupferplatte um, so sehen Sie den Lichtschein verschwinden. Hier ist auf einem Karton von $^1/_2$ mm Dicke Sidotsche Blende einseitig aufgetragen. Halte ich diesen Schirm horizontal so, daß die Blende sich oben befindet, und nähere von unten das Radiumpräparat, so sehen Sie den Schirm aufleuchten, nähere ich in gleicher Weise das Radiotellurpräparat, so ist keine Lichtwirkung zu erkennen. Es werden eben die α-Strahlen durch den dünnen Karton bereits absorbiert. Erst bei direkter Gegenüberstellung von Blende und Radiotellurplatte stellt sich die Lichterscheinung wieder ein. Analog kann man am Elektroskop zeigen, wie Radiotellur nur in ziemlicher Nähe die Wirkungen erzeugt, die Radiumbromid auf große Entfernung gibt.

Vorstudien zu einer neueren Untersuchung der „Albüberdeckung" im Frankenjura.

Von W. Koehne.

Aus dem mineralogisch-geologischen Institut der Universität Erlangen.

Die Hochfläche des fränkischen Jura wird, wie bekannt, zum größten Teile nicht von nackten Felsen des weißen Jura eingenommen, sondern von über diesen lagernden sandigen und tonigen Bildungen. Dadurch ist der landschaftliche und wirtschaftliche Charakter der Jurahochfläche völlig verändert; denn diese Schichten sind die Unterlage des Ackerbaues; besonders die tonigen Schichten sind es, welche ein sofortiges Einsinken des Regenwassers in die Klüfte des Kalkes und Dolomits verhindern, und welche häufig auch zur Anlegung von kleinen Weihern Veranlassung geben. Um für die Wasserversorgung der Ortschaften nutzbar gemacht zu werden, sind die Überdeckungsschichten in der Regel zu wenig regelmäßig und mächtig. Doch hat z. B. die Stadt Monheim ihre Wasserleitung darin angelegt (vgl. v. Ammon, Geogn. Jahresh. f. 1903, S. 166).

Ferner finden auch oberhalb des Jura vorkommende Eisenerze und Farberden technische Verwendung.

Die wissenschaftliche Bedeutung der Überdeckungsschichten liegt darin, daß diese Reste, so kümmerlich sie oft sein mögen, vorzugsweise es sind, welche uns Aufschluß über die Geschichte unseres Gebietes seit Schluß der Jurazeit geben müssen.

Was die bisherigen Forschungen anbelangt, so ist zunächst zu bemerken, daß die kartographische Darstellung durch v. Gümbel und seine Mitarbeiter auf den Blättern Kronach, Bamberg, Erbendorf, Ansbach, Neumarkt, Regensburg, Nördlingen, Ingolstadt der geognostischen Karte von Bayern in 1 : 100000 erfolgt ist. Dieser Maßstab sowie der Umstand,

daß die Karte nicht die orographischen Verhältnisse mit angibt, macht es naturgemäß unmöglich, daß man Details daraus entnehmen kann.

Außer v. Gümbel und v. Ammon haben sich in neuerer Zeit mit einschlägigen Fragen auch Kohler, Thürach, Schlosser und Schwertschlager befaßt[1]). Die einzelnen Angaben sind in der Literatur weit verstreut; auch die Beobachtungen v. Gümbels sind nicht nur an verschiedenen Stellen seiner „geognostischen Beschreibung der Fränkischen Alb", sondern auch der des ostbayerischen Grenzgebirges und den Erläuterungen der Kartenblätter verteilt.

Dies dürfte der Grund dafür sein, daß die Fachgenossen, welche nicht die Albüberdeckung aus eigener Anschauung kennen, sich vielfach eine recht falsche Vorstellung davon machen.

Bei Aufsammlungen von Gesteinsproben für das mineralogisch-geologische Institut der Universität Erlangen hatte ich Gelegenheit, mir einen Überblick über die einschlägigen Verhältnisse zu verschaffen. Ich fand die Gümbelschen Aufschlüsse fast ausnahmslos verfallen, während die neu vorhandenen meistens Veränderungen in wenigen Jahren ausgesetzt sind. Dadurch wird es wünschenswert, die zur Zeit bestehenden Aufschlüsse durch Beschreibungen bezw. Abbildungen festzuhalten. Nach meinen bisherigen Beobachtungen kann man sich ein richtiges Bild von der Albüberdeckung nicht durch Untersuchung eines beschränkten Teils, sondern nur durch Kenntnis des Gesamtgebietes machen.

Die bisherigen Untersuchungen geben weder ein klares, widerspruchsloses Bild, auf welche Weise die heutige Oberflächenbeschaffenheit des fränkischen Jura entstanden, noch zu welchen Zeiten Schichten abgelagert und wieder abgetragen sind. Zunächst sei hier zusammengestellt, für was für Bildungen die in Betracht kommenden Vorkommnisse von verschiedenen Autoren erklärt worden sind.

1. Kreideablagerungen aus dem Meere (bez. einzelnen Becken) oder Überreste von solchen, und zwar { Cenoman nach v. Gümbel, Turon nach Kohler.

[1]) Literaturverzeichnis am Schluß.

2. Von Flüssen der Kreide- und Tertiärzeit herbeigeführtes Material (Schwertschlager).

3. Tertiäre, den Braunkohlenschichten bezw. der oberen Süßwassermolasse entsprechende Bildungen (v. Gümbel, v. Ammon, Thürach).

4. Bei der Denudation der früher höher aufragenden östlichen Keupergebiete hereingeschwemmtes Material (v. Gümbel 1868).

5. Von der Denudation des nordwestlich vorgelagerten Eisensandsteins (Braun-Jura β) stammendes Material (Schwertschlager).

6. Hereingewehtes Material (vom Strande des mittelmiocänen Molassemeeres, nach Schlosser).

7. Eluviale Bildungen aus den Jura-Kalken und -Dolomiten.

8. Ausscheidungen von Quellen, welche an Verwerfungen aufsteigen.

Von Schwertschlager wurde (S. 13) die Einteilung des Fränkischen Jura in drei Teile vorgeschlagen: 1. Schwäbisch-bayerischer Jura, der nicht in den Rahmen dieser Arbeit fällt, da in der Nachbarschaft des Rieses besondere Verhältnisse herrschen; 2. Altmühlgebirge; 3. Nordgau.

Da es mir zweckmäßig erscheint, auch das Altmühlgebirge für sich zu behandeln, so soll hier zunächst nur auf den Nordgau näher eingegangen werden.

Nordgau.

Es ist zunächst nötig, einen Blick auf die Ablagerungen sicheren Alters zu werfen, welche sich seit Beginn der Kreidezeit in diesem Gebiet oder in dessen Nähe gebildet haben.

Was die Kreidegesteine anbetrifft, so erstrecken sich diese von der Regensburger Gegend, wo sie von Gümbel und von Ammon eingehend beschrieben worden sind, gegen Norden bis in die Gegend von Amberg.

Für eine ehemals weitere Verbreitung nach Westen spricht die Angabe Gümbels (Frankenjura S. 372), daß bei Kastel an vielen Stellen Exemplare von Exogyra columba vorkommen, die, wenn auch jetzt vielleicht auf sekundärer Lagerstätte befindlich, doch wohl nicht weit geschwemmt sein dürften.

Bei Amberg wurden die Kreideschichten in neuester Zeit von Kohler untersucht, der zu wesentlichen Abweichungen von Gümbels Ansichten gekommen ist, was dazu zwingt, letztere auch für die eigentliche fränkische Alb nachzuprüfen. Im besondern nämlich hält Kohler die Erze nicht für cenomanen Alters, sondern nimmt eine sekundäre Bildung für sie an. Während v. Gümbel cenomane Schichten weit nach Norden verfolgen zu können glaubte, keilen sie nach Kohlers Ansicht in der Amberger Gegend aus. Versteinerungen von Einzelhof an der Bahnlinie Neukirchen-Vilseck, die v. Gümbel für cenoman hielt, bestimmte Kohler auf Grund des Gümbelschen Materials als turonisch. Der nächste von v. Gümbel (Ostbayr. Grenzgeb., S. 459) angegebene Fundpunkt cretacischer Versteinerungen „auf der Höhe bei Weißenbach südwestlich von Vilseck" ist von Kohler nicht erwähnt. Verfasser suchte ihn trotz der ganz unbestimmt gehaltenen Fundortsangabe (es gibt Oberweißenbach und Unterweißenbach, welche in einem in ein Plateau eingeschnittenen Tale liegen) auf, fand aber in den dort vorhandenen Blöcken quarzitischen Sandsteins[1]) keine Versteinerungen; die hornsteinartigen quarzitischen Gesteine nicht weit davon bei Edelsfeld enthalten zwar Abdrücke von Versteinerungen; da aber keine charakteristischen Kreidefossilien darin gefunden wurden, müssen sie bis auf weiteres mit den jurassischen Hornsteinen vereinigt werden. Wie mir Herr Oberbergrat v. Ammon freundlichst mitteilte, sind die von Gümbel 1868 angegebenen Versteinerungen von diesem nicht aufgehoben worden

Ein neues Vorkommen entdeckte Kohler bei Auerbach; er fand nämlich in Tonen, welche aus einem Schacht gefördert waren und einem tieferen Niveau der dortigen Überdeckungsschichten entstammten, mehrere Exemplare von Cardium Ottoi, ferner Dentalium sp. und Araucaria, woraus sich auf turones oder senones Alter der Schichten schließen lasse. Der von hier sich nach Westen ausdehnende sog. „Veldensteiner Sandstein"

[1]) Diese in unserem Gebiet sehr verbreiteten, höchst charakteristischen Blöcke bestehen aus fein- bis sehr grobkörnigem Sandstein mit quarzigem Mittel. Um sie gegenüber auch vorkommenden dichten Quarziten und Hornsteinen zu kennzeichnen, werde ich dafür den in der Oberpfalz gebräuchlichen Lokalnamen „Kalminzer" gebrauchen.

enthält nur unbestimmbare Pflanzenreste und wurde von Gümbel vermutungsweise ins Cenoman gestellt. Wir können Kohlers Ansicht, daß dieses Gestein jünger sei, wohl beipflichten; dagegen ist die Angabe Kohlers, die dieser von Gümbel übernommen hat, daß es von den oberturonen Kalken bei Betzenstein überlagert werde, völlig unbewiesen.

Betzensteiner Kreidekalke.

Die winzigen Kreidevorkommnisse in der Umgegend von Betzenstein (auf der Hochfläche zwischen Nürnberg und Pegnitz), deren Auffindung wir dem Scharfblicke Gümbels verdanken, sind von ganz besonderem Interesse.

Nach einer von Herrn Oberbergrat v. Ammon freundlichst erteilten Auskunft suchte Verfasser die Fundplätze auf. Da sie auf der geognostischen Karte (Bl. Bamberg) in 1 : 100000 bei ihren geringen Dimensionen nicht genau eingetragen werden konnten und außer dem von v. Gümbel und v. Ammon gesammelten Material im Oberbergamte zu München m. W. bisher kein weiteres existierte, so soll hier eine etwas nähere Schilderung der interessanten Vorkommnisse gegeben werden.

Das cretacische Gestein wird von Gümbel zuerst 1868 (S. 745) von Mergners, Waiganz und Eckenreuth erwähnt; es sei dem Jurakalke ähnlich, abgesehen von fleckweise eingelagerten glaukonitischen Mergelkalken, und enthalte außer zahlreichen Bryozoen charakteristische turonische Versteinerungen, deren er 13 anführt. Auf der geognostischen Karte (Bl. Bamberg) sind von diesen drei genannten Fundpunkten zwei eingetragen, nämlich bei Mergners und bei Eckenreuth, außerdem drei neue Vorkommnisse (um das Dorf Hüll herum); in den Erläuterungen dazu wird als Lokalität nur angegeben „am Galgenberg bei Hüll“ und eine Fossilliste aufgeführt, welche von der von 1868 etwas abweicht[1]).

[1]) Beiden Listen gemeinsam ist: Pholadomya caudata, Trigonia limbata, Pecten virgatus, Pecten quadricostatus, Magas Geinitzi. Der ersten Liste (von 1868) eigentümlich ist: zahlreiche Bryozoen, Baculites anceps, Callianassa antiqua (sehr häufig), Serpula filiformis, Isocardia cretacea, Avicula anomala, Lima procaena, Haplostiche foedissimum, Ataxophragmium variolare (Druckfehler statt variabile). Der zweiten Liste (von 1887) eigentümlich ist: Baculites sp., Ostrea haliotoida, O. cf. vesicularis, Lima canalifera, Rhynchonella Cuvieri.

Bei der dritten Erwähnung (Frankenjura 1891, S. 426) taucht die erste Fossilliste genau wieder auf. Beim viertenmal (Geologie von Bayern S. 869) werden die wichtigsten Formen aus dieser aufgeführt und die Lokalität als „am Galgenberg und bei Hüll“ bezeichnet.

Der Hauptfundpunkt befindet sich beim Dorfe Mergners oberhalb des sog. „Grundangers“. Zur weiteren Vermeidung von Verwechselungen ist zu bemerken, daß hier nicht der auf der Generalstabskarte sowie auf der geognostischen Karte als Grundanger bezeichnete Walddistrikt, vielmehr der mit einem kleinen Teich versehene Anger östlich von Mergners im Talgrunde zu verstehen ist. Hier fanden sich 1905 an einem von diesem Teiche zum Punkt 888 des Steuerblattes LXXIV, 4 hinaufführenden Wege aus dem Boden herausragende Blöcke des von Gümbel beschriebenen Gesteins.

Außen sind sie meist durch herausgewitterte Bryozoen kenntlich, während auf Bruchflächen grünliche mergelige Butzen und Serpula, Callianassa sowie andere Versteinerungen charakteristische Merkmale bilden. Schichtung fehlt.

Der größte der Felsblöcke hat etwa $1^1/_2$ m Länge; die Reihe, in der er liegt, dehnt sich etwa 5 m weit aus, während bis 12 m (horizontal gemessen) weiter abwärts im Boden steckende Blöcke auch noch anstehend (hier nur im Sinne von nicht künstlich verschleppt) zu sein scheinen. Außerdem lagen in nächster Nähe noch kopfgroße Blöcke desselben Gesteins herum, während weiterhin nur Bruchstücke von allem Anschein nach jurassischen Gesteinen[1]) gefunden wurden. Diese waren jedoch nur in Lesestücken vertreten und kein Aufschluß vorhanden.

Die Stelle liegt dicht neben dem auf der Karte als Kreide kartierten Gebiete, während dieses allem Anscheine nach solche nicht enthält.

In einem Stücke jurassischen Kalkes sind bis 2 mm dicke Adern vorhanden, mit grünlich-gelbem mergeligen weichen Material ausgefüllt, in dem sich vereinzelt Quarzkörnchen, anscheinend konkretionärer Entstehung, befinden.

---

[1]) Vorwiegend hier stark verbreitete, geschichtete Kalke, die ein Äquivalent der Solnhofer Schichten bilden. Diese nördlichen Ausläufer wurden in Walthers Monographie nicht berücksichtigt.

Auf einem westlich benachbarten Acker wurde als Lesestück ein Stück glaukonitischer Sandstein (turonisch?) gefunden.

Die Fundstelle befindet sich am Gehänge des Tales, während auf der Höhe nahe darüber (am Rande des Staatswaldes) Kalminzer[1]) liegen und der Veldensteiner Sandstein beginnt. Auch Jurakalklesestücke liegen noch in etwas höherem Niveau als die Turonkalkblöcke. Auffallend ist es, daß Gümbel ein so genaues Profil gibt, jedoch die oben liegenden Sandsteinblöcke (Kalminzer) nicht erwähnt. Möglicherweise befand sich sein Aufschluß an einer etwas anderen Stelle und ist jetzt, vielleicht bei der Aufforstung neuen Waldes, verschüttet. Die Deutung der Lagerungsverhältnisse und die Besprechung der Fossilien erfolgt weiter unten.

Was die petrographische Beschaffenheit anbelangt, so unterscheidet sich der Turonkalk durch sein Auftreten in rundlichen Blöcken und seine unregelmäßige Beschaffenheit meist auf den ersten Blick von dem feinkörnigen Jurakalk.

Doch finden sich darin auch Trümmer von Kalkstein, der im äußeren Aussehen und unter dem Mikroskop die ganz feinkörnige Beschaffenheit wie der Jurakalk der Nachbarschaft zeigt. Diese Trümmer werden gegen das übrige Gestein häufig durch einen Besteg grünlichen Tones getrennt, unter dem sich eine angewitterte Oberfläche beobachten läßt. Gümbel beschreibt das Gestein 1868 als aus organischen Resten bestehend, zwischen denen „eine dichte, dem Jurakalke völlig gleiche weiße Kalkmasse als Bindemittel abgesetzt ist". In der Tat ist solche als Ausfüllungsmasse der kleinen Hohlräume zwischen den übrigen Bestandteilen auf Schliffen zu erkennen und vielleicht dadurch zu erklären, daß feiner durch Zerstörung von Jurakalken gebildeter Schlamm eingeschlemmt wurde. Nach diesen Beobachtungen scheint es mir wahrscheinlich, daß sich die Turonkalke unmittelbar auf den damals bereits erhärteten Jurakalken bildeten.

An angewitterten Stellen und auf Schliffen läßt sich erkennen, daß der Hauptbestandteil Organismenreste sind. Nicht selten sind die Fossilien von Sprüngen durchzogen, an denen

[1]) S. die Anm. auf S. 324.

kleine Verschiebungen stattgefunden haben, und die mit Kalkspat ausgeheilt sind.

Die Farbe zeigt in den kompakten Partien des Gesteins einen Stich ins rötliche.

Durchzogen wird das Gestein von grünlichen (wenn verwittert, gelblichen) glaukonitischen, unregelmäßig verlaufenden Mergelflasern.

Herr Oberbergrat v. Ammon überwies uns freundlichst zwei der 1874 von ihm gesammelten Stücke, welche mit unserem Material übereinstimmen.

Einschlüsse finden sich, abgesehen von den erwähnten Bruchstücken von Jurakalk, spärlich aber doch von verschiedenen Gesteinen. So fällt ein rundlicher Brocken eines glaukonitischen Kalksteins auf, welcher den Eindruck macht, als handele es sich um ein abgerolltes Stückchen eines präexistierenden Gesteins. Ferner ein Stückchen grünlichen, mit Glaukonitadern durchzogenen quarzitischen Sandsteins, dessen Abrundung aber keine vollkommene ist. Außerdem wurden ganz vereinzelt Quarzkörner gefunden, von denen nur eins deutliche Abrundung zeigt, während die anderen vielleicht konkretionär entstanden sind.

Abgesehen von den beschriebenen Einschlüssen finden sich an Kluft- und Außenflächen Quarzkörner fest ansitzend, die aber eingeschwemmt sein können, ähnlich wie man bei Solnhofen in den Bohnerzschlotten die Fremdkörper am Kalkstein fest anhaftend und förmlich eingefressen findet.

An einem Stücke ließ sich ein Übergang des Kalksteins in Brauneisenerz konstatieren, was wohl auf nachträgliche Substitution zurückzuführen sein dürfte.

Ein zweites Vorkommen befindet sich links (nordwestlich) von der Straße Betzenstein-Hüll nahe an deren höchstem Punkt an einem Raine[1]).

Möglicherweise ist dies die Stelle, welche Gümbel als das Vorkommen am Galgenberg bei Hüll bezeichnet; es liegt nämlich nördlich des auf dem Steuerblatt LXXIV, 5 und der Generalstabskarte (1 : 50000) als Galgenberg bezeichneten Berges. Da aber auf der geognostischen Karte eine andere Höhe den

[1]) Im folgenden als „Hüll 1“ abgekürzt.

Namen Galgenberg führt, könnte Gümbels Lokalität „Galgenberg“ auch mit der beim „Grundanger“ identisch sein.

An diesem Raine fand ich nur einige verstreut liegende Exemplare, etwa kopfgroße Blöcke. Eines zeigt herausgewitterte Reste von Versteinerungen. Ein anderes wich insofern vom Grundangertypus ab, als es nur wenige undeutliche Spuren von Organismen, dagegen sehr viel Kalkspatkristalle erkennen ließ.

Ein dritter Block stimmte in seinem petrographischen Verhalten weder zu den kretazischen, noch den jurassischen Gesteinen. Es ist eine breccienartige Masse aus Kalkstein, Brocken von sandigem Lehm sowie Quarzkörnern von bis $^1/_2$ cm Größe bestehend; während die zerreiblichen Lehmbrocken leicht herauswittern, ist das übrige Gestein durch kalkige Grundmasse fest und kompakt. Nachdem im Turonkalk am Grundanger Quarzkörner entdeckt wurden, könnte es möglicherweise als Rest einer Strandbildung der Turonzeit angesprochen werden. Als Analogon ließe sich vielleicht ein cenomanes Gestein von Zeschnitz in Sachsen heranziehen, welches Geinitz beschreibt (Paläontogr. XX. 1. 1871, S. 63) als aus eckigen Trümmern von Jurakalk bestehend, welche durch eine glaukonitführende, kalkig-sandige Masse verkittet wurden.

Auf diese wenigen Blöcke scheint das Vorkommen, das auf der Karte einen unverhältnismäßig großen Raum einnimmt, beschränkt zu sein.

Ein dritter Fundpunkt[1]) befindet sich nördlich von Hüll links (westlich) von der Straße nach Weidensees hinter dem Garten des Kantors bei der auf der geognostischen Karte eingetragenen Stelle. Hier fand ich Lesestücke des Turongesteins auf dem Acker neben solchen des jurassischen Plattenkalkes. Der Kalkstein ist dem vom Grundanger sehr ähnlich, nur enthält er größere Partien von Kalkspat sowie von Glaukonit.

Einen vierten östlich von Hüll auf der geognostischen Karte eingetragenen Fundort konnte ich bisher nicht auffinden. Dafür fand ich einige Kilometer davon neben dem von Hüll nach SO führenden Wege ein einzelnes loses Stückchen des Gesteins, das zwar an dieser Stelle jedenfalls verschleppt ist,

[1]) Als „Hüll 2“ im folgenden zitiert.

aber vielleicht doch von keinem der drei oben beschriebenen Fundpunkte stammt.

Am fünften bei Eckenreuth auf der Karte eingetragenen Fundpunkt fand ich unter am Rain zusammengetragenen Stücken ebenfalls das Kreidegestein mit Serpula filiformis und Callianassa. Äußerlich etwas glatter als das vom Grundanger, ist es schwerer von den damit vergesellschafteten Jurakalkfragmenten zu unterscheiden.

Das Fundstück enthält einen 2 mm langen abgerundeten Einschluß von glaukonitischem Sandstein, ähnlich dem Sandstein, welchen ich am Grundanger ebenfalls als Einschluß fand. Es ist übrigens zu bemerken, daß diese Sandsteinstückchen von dem glaukonitischen Sandstein, von dem ich ein Bruchstück neben dem Turonvorkommen vom Grundanger fand, petrographisch abweichen.

Das Vorkommen der Einschlüsse von glaukonitischem, quarzitischem Sandstein an zwei ca. 3 km auseinanderliegenden Punkten zeigt, daß ein solcher bereits vorhanden gewesen sein muß — vielleicht bis auf geringe Reste wieder denudiert —, als das Turonmeer in die Gegend von Betzenstein eingriff.

Wenn wir die Fundpunkte miteinander vergleichen, finden wir ferner, daß sie sich alle vier in unmittelbarer Nähe von Jurakalk befinden. Zwei, nämlich der vom Grundanger und der bei Eckenreuth, haben auch das gemeinsam, daß sie deutliche Trümmer des jurassischen Kalkes eingeschlossen enthalten.

Was nun die Bildungsweise des Gesteins anlangt, so handelt es sich wohl um ein Bryozoenriff, eine Küstenbildung des Turonmeers, die ihren reichen Kalkgehalt dem Umstande verdankt, daß sie unmittelbar dem Jurakalke aufsaß, während fremdes Material nur in ganz geringem Grade herbeigeführt wurde. Solches bildete die Einschlüsse, abgesehen etwa von konkretionären Quarzkörnern. Das spärliche Auftreten dieser Einschlüsse, die mitten im Kalke einzeln eingebettet liegen, läßt sich durch die gewöhnlichen Transportmittel nicht recht erklären und macht es wahrscheinlich, daß sie durch Meerestiere verschleppt wurden.

Fossilführung der Betzensteiner Kalke.

Kieselschalige Foraminiferen.

Ataxophragmium variabile D'Orb. sp., v. Gümbel angegeben (Im „Ostbayr. Grenzgebirge 1868, S. 745 steht variolare, ein Druckfehler, der 1891 im Frankenjura wieder abgedruckt ist.)

Haplostiche foedissimum Reuß sp. v. Gümbel angeg.[1])

Echinodermen.

Bruchstücke von Cidarisstacheln nicht selten, wohl auf C. subvesiculosa D'Orb. zu beziehen.

Vermes.

Serpula filiformis, v. Gümbel angeg. Von mir zahlreich am Grundanger sowie am Fundpunkt Hüll 2 und Eckenreuth gefunden. — Auch Bruchstücke anderer, nicht näher bestimmter Serpeln.

Bryozoen.

Von Gümbel keine Gattungen und Spezies angegeben. Ich fand Bryozoen am Grundanger und den Fundpunkten Hüll 1 und Hüll 2 äußerst zahlreich. Das Material ist zur spezifischen Bestimmung wenig günstig. Da auch aus der Regensburger Kreide, wo Bryozoen in den Großberger Schichten häufig vorkommen, Gümbel keine Spezies (mit einer Ausnahme) angegeben hat, würde es sich empfehlen, diese Vorkommnisse gemeinsam zu bearbeiten.

Brachiopoden.

Magas Geinitzi Schlönb., v. Gümbel ang. Bruchstücke in unserem Material dürften sich darauf beziehen lassen.

Rhynchonella Cuvieri D'Orb., v. Gümbel ang. Ich fand beim Grundanger eine Rynchonella, die zu Rh. plicatilis D'Orb. bei Geinitz (Paläontogr. XX. II. S. 26. Taf. 7 Fig. 5—15) zu stellen ist, und mit der von Gümbel angegebenen Spezies, die Geinitz zu Rh. plicatilis stellt, vermutlich identisch ist.

Lamellibranchiata.

Avicula anomala Sow., v. Gümbel ang.

Isocardia cretacea Gein. (= Cyprina quadrata d'Orb. nach Geinitz. Palaeontogr. XX. 2, S. 62) v. Gümbel ang. Beim Grundanger fand ich einen vermutlich auf diese Spezies zu beziehenden Steinkern.

Lima canalifera Goldf., v. Gümbel ang.; beim Grundanger ein Bruchstück gefunden, das sich auf diese Art beziehen läßt.

Lima procaena Gümbel: Ostbayr. Grenzgeb. 1868, S. 767, 768 mit Textfigur, ausdrücklich wird bei der Aufstellung der Art auf das Betzensteiner Vorkommen Bezug genommen. Ich fand beim Grundanger mehr-

---

[1]) Vgl. S. 325.

fach Exemplare, die zwar die von Gümbel als charakteristisch angegebene Skulptur nicht zeigen, aber wohl als Erhaltungsweisen der Schalen dieser Spezies gelten können. Dagegen zeigt ein Bruchstück vom Fundpunkt Hüll 2 deutlich die Skulptur mit den drei Knotenreihen auf den Radialrippen.

Pecten cfr. membranaceus Nilson. Kleines Exemplar ohne erhaltene Ohren, beim Grundanger.

Pecten virgatus Nils. (= P. curvatus Gein.) v. Gümbel ang.

Vola quadricostata Sow. sp.; von Gümbel ang. Beim Grundanger gefunden.

Ostrea haliotoidea Sow., v. Gümbel ang.

Ostrea cf. vesicularis Lam., v. Gümbel ang.

Pholadomya caudata A. Römer (= Pholadomya aequivalvis Goldf. sp. nach Geinitz) von Gümbel ang.

Trigonia limbata D'Orb.; v. Gümbel ang.; von mir beim Grundanger in spärlichen Resten gefunden.

Schalenbruchstücke mit prismatischer Struktur, wohl auf Pinna zu beziehen, ev. auch auf Inoceramus, beim Grundanger.

Cephalopoda.

Baculites anceps Gein., v. Gümbel ang.

Crustacea.

Callianassa antiqua Otto (nach Fr. Sturm, Jahrb. d. kgl. preuß. Geol. Landesanstalt XXI. 1900, 2, S. 57 = C. Faujasi) von Gümbel ang. Zahlreiche Bruchstücke beim Grundanger, sowie bei Hüll 2 und Eckenreuth gefunden.

Wirbeltierreste.

Verfasser fand beim Grundanger ein Bruchstück, welches von einem Pycnodontiden-Zahn stammen dürfte. Bemerkenswert ist es, daß das Stück nicht etwa erst beim Zerschlagen des Gesteins zerbrach, sondern als Bruchstück im Gestein stak und nach dem Herauspräparieren eine frisch aussehende Bruchfläche zeigte.

Zusammenfassend sehen wir, daß das Gestein trotz reichlicher Aufsammlungen meist nur wenig günstig erhaltene Fossilien geliefert hat, von denen jedoch Bryozoen, Callianassa und Serpula filiformis in großer Menge vorhanden sind.

Zur Altersbestimmung ergibt sich gegenüber Gümbels Angaben nichts Neues. 1868 stellte Gümbel die Betzensteiner Kalke den Callianassenschichten der Regensburger Gegend gleich. 1891 verweist er sie in die obere Stufe des mittelturonischen Stockwerks, obwohl er auf S. 142 die Callianassenschichten als oberste Stufe seines Mittelpläner oder Turon anführt.

Deutung der Lagerungsverhältnisse der Betzensteiner Kreidekalksteine.

Wie aus der vorhergehenden Schilderung sich ergibt, sind an den vier Fundpunkten zur Zeit keine eigentlichen Aufschlüsse vorhanden. Trotzdem erwähnt Gümbel (Frankenjura 1891, S. 426) einen solchen vom Mergnerser Anger und gibt ein Profil von insgesamt 4,85 m Mächtigkeit, wovon 2 m auf die Turonkalke kommen. Das Profil erweckt den Anschein, als ob es sich um eine regelmäßige Schichtenfolge handele, bei der die 1,60 m mächtigen Schichten zwischen diesen Kalken und dem Dolomitfels den „Veldensteiner Sandstein" repräsentierten. Dessen oberste, 25 cm mächtige Schicht glaukonischen Sandes sollte den Regensburger Grünsandstein vertreten. Kohler bemerkt (S. 29) dazu, daß für die Annahme, es sollten cenomane Schichten hier vorhanden sein, keine Anhaltspunkte vorliegen, und stellt die Schichten ins Mittelturon. Dies geschieht unter der Annahme, daß tatsächlich eine regelmäßige Schichtenfolge, wie sie Gümbel angibt, existiere. Damit steht aber unsere oben gegebene Beschreibung des Fundorts in Widerspruch; denn in höherer Lage als die Turonkalke fanden wir Weißjuragesteine sowie Sandsteinblöcke (Kalminzer), welche vermutlich aus dem den Boden des Staatswaldes bildenden Veldensteiner Sandstein herausgewittert sind.

Ehe wir weitere Schlüsse tun, empfiehlt es sich, einen Blick auf die tektonischen Verhältnisse der Gegend zu werfen. v. Ammon und Kohler haben die Vermutung ausgesprochen, daß die Amberg-Sulzbacher Verwerfung weiter nach Norden fortstreiche. Die Heraushebung des Ornatentons im Talgrunde bei Eschenfelden wurde damit in Zusammenhang gebracht. Auf der „Übersichtskarte der Verbreitung Jurassischer und Keuperbildungen im Nördlichen Bayern" ist die Verwerfung oberhalb (östlich) dieses Braunjuravorkommens eingezeichnet, so daß man aus dem Kartenbilde den Eindruck gewinnen müßte, als ob hier der südwestliche Flügel der höhere sei, während er bei Sulzbach und Amberg der tiefere ist. Wenn auch, wie die von Ammon gemessenen verschiedenen Einfallswinkel beweisen, dort Störungen vorhanden sind, so scheint mir doch, daß auch hier der südwestliche Flügel im ganzen gesenkt

wurde, d. h. daß die Verwerfung unterhalb (südwestlich) des Braunjuravorkommens durchstreicht. Eine Dislokation mit tieferem westlichen Flügel läßt sich sehr deutlich erkennen, wenn man die Straße von Eschenfelden nach Achtel verfolgt. Zunächst geht man nämlich im Niveau des oberen braunen Jura, um nach Zurücklegung einer kurzen Strecke bereits Dolomit die Talsohle erreichen zu sehen. Noch auffälliger wird dies Verhalten dadurch, daß das aus den Quellen des Ornatentons gespeiste, auch in regenarmer Jahreszeit vorhandene Bächlein plötzlich verschwindet, indem es auf den Wiesen, zu deren Bewässerung es geleitet wird, versickert; der Schluß dürfte nicht anzuzweifeln sein, daß es als Grundwasser dem gewöhnlich trockenen Tale folgt und erst im Hirschbach unterhalb von Achtel wieder ans Tageslicht tritt.

Wir haben hier in kleinem Maßstab ähnliche Verhältnisse wie bei Pegnitz, wo die Pegnitz aus dem braunen Jura kommend an einer Dislokation in den gesunkenen weißen Jura eintritt. Während sie aber ein oberirdisches Bett schuf und nur noch ein Arm unter dem Wasserberge unterirdisch fließt, ist das Bächlein bei Eschenfelden auf einer langen Strecke mit dem Grundwasser vereinigt, da seine Erosionskraft nicht ausreichte, eine Auflösung des Dolomits bis auf die Grundwasseroberfläche herbeizuführen.

Es wurde nun die Vermutung ausgesprochen[1]), daß diese Amberger Verwerfung durch die hypothetische Verwerfung des Aufseßtales mit der Staffelsteiner in Verbindung tritt, so daß durch die Gegend von Betzenstein eine Störungslinie gehen würde. Hier muß aber betont werden, daß bei der erstgenannten Störung der südwestliche Flügel der tiefere ist, bei der Staffelsteiner aber der nordöstliche, so daß, wenn beide wirklich zusammengehören, zwischen ihnen eine Stelle sich befinden muß, wo die Sprunghöhe gleich Null ist und die Verwerfung höchstens durch stärkere Diaklasen vertreten werden kann.

Wenn auch einige Züge in der orographischen Beschaffenheit der Gegend von Betzenstein und in der Verbreitung der Sandsteinfelsen sich auf Verwerfungen deuten ließen, haben wir doch bis jetzt noch keine genügenden Unterlagen zu der Annahme, daß die Turonkalke in Verwerfungsspalten gesenkt seien und so erhalten blieben.

[1]) v. Ammon in v. Gümbels Frankenjura, S. 624, Kohler S. 29.

Bevor ich auf die mir wahrscheinlichste Deutung der Lagerungsverhältnisse eingehe, möchte ich zunächst drei Aufschlüsse beschreiben, welche in dieser Hinsicht von Bedeutung sein dürften.

1. Der Leyerberg bei Erlangen ist ein Zeugenberg aus einem Sockel von braunem Jura aufgebaut, welchen eine Platte aus den unteren Schichten des weißen Jura bedeckt. In deren geschichteten Kalken sind Steinbrüche angelegt, z. B. neben der Straße Großenbuch-Rödlas; in diesen Aufschlüssen sieht man, daß Löcher, Schlotten in den Kalkstein eingesenkt sind, welche ihre Entstehung der Erweiterung von Klüften durch das Regenwasser verdanken, und welche von einer lehmartigen Masse ausgefüllt sind. Diese Masse ist in einigen Fällen, besonders bei engen Löchern, ein Eluviallehm ohne gröbere Verunreinigungen, in anderen sind in ihm Feuersteinbrocken, kleine Knollen von Brauneisenerz und Quarzstücke verteilt. Diese Feuersteine finden sich aber nicht in den hier anstehenden Werkkalkbänken, dagegen sind sie in den nahegelegenen Gebieten, wo noch jüngere Schichten des weißen Jura entwickelt sind, darin stellenweise zahlreich vorhanden.

Wir nehmen also an, daß diese Löcher bereits zu einer Zeit angelegt wurden, als noch jüngere, feuersteinführende Schichten den Leyerberg deckten. Bei deren Denudation sanken die Feuersteine, in plastischen Ton eingehüllt, in die Klüfte herab.

Zu der Annahme einer frühen Entstehung und Ausfüllung solcher Schlotten sind wir um so eher berechtigt, als im Altmühlgebirge und dem Württembergischen Jura, wie dort die Säugetierfunde gelehrt haben, solche Löcher zu verschiedenen Zeiten der Tertiärperiode ausgefüllt wurden. Aus der Regensburger Gegend sind sogar Schlotten bekannt, die bereits am Anfange des Cenoman ihre Ausfüllungsmasse erhielten.

2. An dem nördlich der Bahnlinie von Vilseck nach Groß-Albershof längs dieser nach Westen führenden Wege befindet sich unweit Schlicht ein Steinbruch in Weißjurakalk (i_1 der Karte). Hier sieht man große, zweifellos vom Wasser ausgenagte Schlotten; in deren Ausfüllungsmasse befinden sich unter anderem Brocken eines Sandsteins, welcher augenscheinlich nicht etwa aus hineingeschwemmten Sanden sich gebildet hat, sondern bereits als Sandstein vorhanden war, als sich die Schlotten bildeten. Oben

auf der Hochfläche legen noch Sandsteinblöcke (Kalminzer) Zeugnis von der ehemaligen Verbreitung solcher Sandsteinschichten ab. Aus diesen fielen die Sandsteinstücke in die Schlotten herab, wo sie erhalten bleiben, bis auch der weiße Jura ganz erodiert ist.

3. Nördlich von Funkenreuth bei Königstein schneidet die Straße unterhalb des mit 592 m (auf dem topographischen Atlas) bezeichneten Punktes einen Dolomitrücken durch. Hier findet sich ein Aufschluß an der Westseite der Straße in Bildungen, welche den Ausfüllungsmassen der Schlotten in dieser Gegend sehr ähneln; allerdings sind sie nur noch nach dem Berge zu von Dolomitfelsen begrenzt, auf der anderen Seite befindet sich das Tal. Die Ausfüllung der Schlotten ist also recht früh erfolgt, ehe das Tal auf der anderen Seite ausgenagt war. In der Masse finden sich Trümmer eines feinkörnigen Sandsteins, die z. T. Schichtung zeigen, ferner Partien verschiedenfarbiger Tone. Wir müssen auch hier annehmen, daß solche Sandstein- und Tonschichten sich einst über dem Dolomit ausbreiteten, daß unter ihnen die Schlotten ausgenagt wurden und Bruchstücke hineinfielen. So konnten diese in der Tiefe erhalten bleiben, während die übrigen Partien auf ihrer ursprünglichen Lagerstätte denudiert wurden.

Damit glaube ich nun auch die Erklärung für unsere Turonkalkblöcke bei Betzenstein gewonnen zu haben. Wir müssen annehmen, daß ihnen dort durch Auslaugung des Jurakalkes die Unterlage entzogen wurde, so daß sie in Schlotten hereinstürzten, wo sie erhalten bleiben konnten. Unter dieser Annahme ist es unmöglich, etwas Sicheres über das Altersverhältnis der Kalke und des Veldensteiner Sandsteins auszusagen.

Schichten von zweifellos tertiärem Alter greifen nicht so weit in das Nordgaugebiet ein als solche der Kreideperiode. In Betracht kämen die obermiocänen Braunkohlenstraten, welche sich aus der Gegend von Regensburg bis in die von Amberg erstrecken. Ferner wurden ebenfalls obermiocäne dichte, dünngeschichtete Süßwasserquarzlagen von Egelsee (im Winkel zwischen Naab und Vils) von Gümbel beschrieben (Ostbayr. Grenzgeb., S. 791). Ein petrographisch ähnliches Gestein fand

er auch am Benkhof bei Amberg. Die westlichsten Ausläufer der böhmischen Tertiärformation sind zwar von unserem Gebiet weit entfernt, weisen aber gewisse Ähnlichkeit mit manchen Ablagerungen in der Albüberdeckung auf. (Beschrieben im Ostbayr. Grenzgeb., S. 793, 468, 459).

Zu erwähnen ist noch, daß nach Gümbel (Ostbayr. Grenzgeb., S. 795) am hohen Parkstein weißliche Tonlagen erhalten sind, welche von grobem Sand bedeckt sind und „hier und da schwarze kohlige Zwischenschichten und Blattabdrücke tertiärer Pflanzenarten enthalten".

Von Quartärablagerungen sind die durch Säugetierreste ihrem Alter nach bestimmten Höhlenlehme (Gümbel, Frankenjura, S. 171, 487) zu nennen Ihre Beschaffenheit ist wechselnd: gelber Ton mit verschiedenen Verunreinigungen, besonders Quarzkörnern. v. Gümbel fand beim Schlämmen solche bis 2 mm Größe, ferner kleine Hornsteinsplitter, einzelne verkieselte Schwammnadeln, einzelne vom Magneten angezogene schwarze Eisenmineralteilchen, Brauneisensteinkörnchen, sehr spärlich Glimmerschüppchen, Kriställchen von Zirkon und Turmalin.

Über das mittelfränkische Diluvium findet sich eine Zusammenstellung von Neumeister in „Die Alluvial- und Diluvialablagerungen des Regnitztales südlich Erlangen" (Inaugural-diss. Erlangen. Bamberg 1905).

Weiteres über die Verhältnisse des Nordgaus zur Diluvialzeit soll noch zurückgestellt werden, ebenso wie die Beschreibung einzelner Aufschlüsse in der Überdeckung.

Altmühlgebirge.

In diesen west-östlich streichenden Abschnitt des Frankenjura scheinen Kreidegesteine aus dem Regensburger Gebiet nicht weiter als bis in die Kelheimer Gegend hereinzureichen.

Dagegen spricht nur eine Angabe Gümbels (Frankenjura, S. 296): „Oberhalb der Mörnsheimer Plattenbrüche gegen die Hart zu wurden eigentümliche, poröse, kieselig-sandige Gesteine mit Einschlüssen nicht näher bestimmbarer Bryozoen in losen Stücken aufgefunden, welche, da ähnliche Gebilde im fränkischen

Jurakalk sonst nicht beobachtet worden sind, häufig dagegen in der Regensburger Gegend mit cretacischen Schichten zusammengefunden werden, mit Wahrscheinlichkeit als cretacisch zu betrachten sind.“ Drei Stücke eines jedenfalls dazu gehörigen Sandsteins aus der Solnhofener Gegend fanden sich im mineralogisch-geologischen Institut zu Erlangen vor. Ich suchte die Stelle, an welcher auf der geognostischen Karte (Bl. Ingolstadt) der Bryozoensandstein eingezeichnet ist, und welche oberhalb des Horstbruches liegt, auf und fand dort Stücke eines porösen (wahrscheinlich ursprünglich kalkigen und dann ausgelaugten) Sandsteins, welche undeutliche Spuren von Organismen, nämlich Bruchstücke von Muschelschalen und bryozoenähnliche Bildungen, enthalten.

Für die Annahme, daß hier ein kretazisches Gestein vorliegt, scheinen mir nun keine genügenden Gründe vorzuliegen. Man könnte es recht wohl mit den tertiären Sandbildungen, und zwar vermutlich obermiocänen, vereinigen.

Von den Tertiärablagerungen ist in Schlotten durch Säugetierreste nachgewiesen: Eocän bei Heidenheim am Hahnenkamm (Schlosser 1902., S. 130), ebenso bei Raitenbuch bei Eichstätt (l. c., S. 139), Oligocän bei Pappenheim, ebenda Untermiocän. Mittelmiocäne Säugetierreste bestimmte Schlosser aus einer Spaltausfüllung in lithographischem Schiefer bei Solnhofen (1904). Auch erhielt er durch Schlämmen des grünlichen Tones, in dem sie sich befanden, graue und grünliche Quarzkörnchen, „die meist Stecknadelkopf-, zuweilen aber auch bis Erbsengröße besitzen, wie sie auch das Gestein der Meeresmolasse von Dischingen, Niederstotzingen, Ermingen, Baltringen etc. zusammensetzen“. Als Transportmittel dafür nimmt er den Wind an, während das Meer der mittelmiocänen (bei Gümbel als altmiocän) bezeichneten oberen Meeresmolasse nicht in den fränkischen Jura vordrang, obwohl man im schwäbischen seine Ablagerungen bis zu Höhen von 650 m findet, ein Beweis, daß damals der Frankenjura im Vergleich zu diesen Teilen des schwäbischen höher lag als jetzt.

Zum Obermiocän ist einmal die obere Süßwassermolasse zwischen der Alb und den Alpen gerechnet, dann die Braunkohlenschichten bei Regensburg und Ingolstadt. Diese ziehen sich nach Gümbel (Frankenjura, S. 158) bis zur Höhe der Wasser-

scheide gegen die Altmühl empor und wurden seinerzeit bei Adelschlag (442 m über NN.) aufgeschlossen, in Wechsellagerung mit Süßwasserkalk mit obermiocänen Conchylien. In noch höherer Lage (500 m und darüber) konnten sich solche Süßwasserkalke in kleinen Becken bilden (s. Schwertschlager S. 70).

Die Süßwasserkalke nördlich von Weissenburg (z. B. bei Georgensmünd) sind deswegen sehr bemerkenswert, weil sie beweisen, daß der Keuper bereits im Obermiocän hier bloßgelegt war, und zwar bis auf etwa 360 m, ein Umstand, den besonders Schwertschlager gewürdigt hat. Denn er zeigt, wie weit damals die Erosion hier schon vorgeschritten war, wohingegen in Württemberg noch im Mittelmiocän nach Branco der Albrand bis gegen Stuttgart reichte (Württemb. Jahresh. 1894, S. 603).

Aus dieser Zeit kommen nach Schwertschlager auch alpine Gerölle in Betracht. Mit denen des Hauptkieslagers in der oberen Süßwassermolasse übereinstimmende fand er entlang des Wellheimer Trockentals und von dessen Einmündung ins Altmühltal an längs diesem abwärts. Diese Gerölle müssen nach Schwertschlager vor der Glacialzeit dorthin gelangt sein; d. h. das über Wellheim, Dollnstein, Eichstätt gehende Tal ist schon im Miocän oder Pliocän angelegt. Bis zur Zeit der Hochterrassenschotter wurde dann nach seiner Ansicht das Tal bei Eichstätt bis auf 17 m unter der heutigen Talsohle erodiert.

Es sei noch bemerkt, daß die beiden neuesten Arbeiten, welche diese Gegend betreffen (v. Ammon und Schwertschlager) neue Angaben über Dislokationen enthalten, deren Zahl im Frankenjura sich bei vermehrten Aufschlüssen und Untersuchungen wohl immer mehr vergrößern wird.

Über das Altersverhältnis der Dislokationen zur Überdeckung haben sich die Ansichten noch nicht genügend geklärt; es stehen sich die von Ammon und Kohler gegenüber. Kompliziert wird die Frage noch durch die neuesten Angaben von Penck über quartäre Störungen nicht weit vom Frankenjura.

Ein näheres Eingehen darauf würde an dieser Stelle zu weit führen.

Eine Beschreibung der eigentlichen Albüberdeckung soll in dieser Arbeit noch nicht gegeben werden. Dagegen möchte ich außer den eingangs erwähnten noch zwei Faktoren anführen, welche bisher wenig beachtet wurden. Erstens gehören zu den Rückständen der Juraschichten außer Lehmen und den eigentlichen Hornsteinknollen noch verkieselte Gesteine, welche aber noch ziemlich wenig erforscht sind. Solche finden sich z. B. beim Horstbruch bei Mörnsheim (mit verkieselten Ammoniten). In der Überdeckung unterhalb der Brücke der von Maxberg nach dem Hartbruch führenden Straße finden sich ebenfalls solche, deren Kalkgehalt aber ausgelaugt ist, so daß sie porös geworden sind.

Ferner ist es für die Entstehung der heutigen Überdeckung nötig, das Verhältnis zwischen chemischer und mechanischer Erosion zu beachten. Die unterliegenden Juraschichten werden fast nur durch chemische Auflösung zerstört, während die Überdeckungsgebilde für diese kaum angreifbar sind und fast nur mechanischen Kräften zum Opfer fallen. Infolgedessen werden sie an steileren Gehängen fortgespült, daher ragen die kahlen Felskuppen des Frankendolomit unbedeckt heraus. Zwischen ihnen bilden sich auf der Hochfläche große, flache Mulden, in denen die Überdeckung erhalten ist, und welche daher zum Ackerbau verwertet werden. Sie sind gewissermassen als Oberlauf der Täler zu betrachten, haben aber ein sehr geringes Gefälle; wenn wir diesem folgen, so sehen wir, wie allmählich die Böschungen steiler werden, so daß die Mulden ganz allmählich in Rinnen übergehen. Endlich treten die Wände dicht zusammen und werden von senkrechten Dolomitfelsen gebildet, während der ebene Talgrund von Wiesen eingenommen wird.

Bei diesen Vorgängen spielt für die Überdeckung die allmähliche Entziehung der Unterlage durch Auflösung eine große Rolle. Darauf möchte ich es auch zurückführen, daß man die Kalminzer in verschiedenen Niveaus findet, z. B. bei Eschenfelden, wo sie auf den braunen Jura herabgesunken sind, während sie nicht weit davon entfernt auf Dolomit liegen. Weiter abwärts können aber solche Sandsteinblöcke nicht gelangen; denn wenn eine mechanische Erosion einsetzt, welche

den Eisensandstein (Braun-Jura β) angreift, werden auch sie zerstört.

Auf solche Entziehungen der Unterlage durch Auswaschung möchte ich auch scheinbare Stauchungserscheinungen zurückführen, wie ich sie z. B. in den oberflächlichen Schichten der Plattenkalke bei Solnhofen beobachtete, und die mit denen, welche Thürach als Wirkungen der Vereisung auffaßt, große Ähnlichkeit haben; hier ist auch auf die Untersuchungen Fr. Pfaffs über mit der Erosion in Zusammenhang stehende Schichtenstörungen hinzuweisen, auf die später an anderer Stelle noch zurückzukommen sein wird.

Literatur.

L. v. Ammon. In Gümbels „Geognostische Beschreibung der fränkischen Alb" 1891. Übersicht der Verwerfungen im nördlichen Bayern (2. Abschnitt), S. 622—640.

Kleiner geologischer Führer durch einige Teile der Fränkischen Alb (Exkursion von Mitgliedern der Deutschen geologischen Gesellschaft in den Frankenjura, September 1899) München. Piloty und Loehle.

Die Bahnaufschlüsse bei Fünfstetten am Ries und an anderen Punkten der Donauwörth—Treuchtlinger Linie. Geognostische Jahreshefte. 16. Jahrg., für 1903, S. 145—184. München 1905. Piloty und Loehle.

W. v. Gümbel, Geognostische Beschreibung des Königreichs Bayern. 2. Abteilung: Geogn. Beschr. des Ostbayerischen Grenzgebirges oder des Bayerischen und Oberpfälzer Waldgebirges. Gotha 1868. J. Perthes.

Kurze Erläuterungen zu dem Blatte Bamberg (No. XIII) der geognostischen Karte des Königreichs Bayern. 54 S. Kassel. 1887. Th. Fischer.

do. zu d. Bl. Neumarkt (No. XIV) 50 S. 1888.

„ „ „ „ Ingolstadt (No. XV) 34 S. 1889.

„ „ „ „ Ansbach (No. XVII) 32 S. 1891.

Geognostische Beschreibung des Königreichs Bayern. 4. Abteilung. Geogn. Beschr. der Fränkischen Alb (Frankenjura) mit dem anstoßenden fränkischen Keupergebiete. 763 S. Kassel 1891. Th. Fischer.

Hagen. Die geologischen Verhältnisse im Arbeitsgebiete der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg. Abhandl. d. naturh. Ges. Nürnberg. VIII. 1891, S. 22.

E. Kohler. Die Amberger Erzlagerstätten. Geogn. Jahresh. 15. Jahrg. f. 1902, S. 11—56. München 1903. Piloty und Loehle.

A. Neischl. Die Höhlen der fränkischen Schweiz und ihre Bedeutung für die Entstehung der dortigen Täler. Erlangen 1903.

P. Neumeister. Die Alluvial- und Diluvialablagerungen des Regnitztales südlich Erlangen. Bamberg 1905. M. R. Schulz.

Penck und Brückner. Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1901—1905.

Fr. Pfaff. Beiträge zur mechanischen Geologie aus dem fränkischen Jura. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 1868, S. 389—396.

S. Pfaff. Über die unlöslichen Bestandteile der Kalke und Dolomite. Zeitschr. f. d. gesamten Naturwissensshaften. 3. Folge. 1878. Bd. III, S. 273—294.

M. Schlosser. Höhlenstudien und Ausgrabungen bei Velburg in der Oberpfalz. N. Jahrb. f. Min. 1896. I, S. 187—199.

Ausgrabungen und Höhlenstudien im Gebiet des oberpfälzischen und bayerischen Jura. Korrespondenzbl. d. d. Ges. f. Anthropologie, Ethn. und Urgesch. XXVIII. Jahrg. Nr. 4. April 1897, S. 26—31.

Höhlenstudien im fränkischen Jura, in der Oberpfalz und im Ries. Ebenda. XXIX. Jahrg. Nr. 3. März 1898, S. 15—22.

Beiträge zur Kenntnis der Säugetierreste auf den Süddeutschen Bohnerzen. Geolog. und Palaeontolg. Abhandl. herausgeg. von E. Koken. Neue Folge. Band V (der ganzen Reihe Bd. IX) Heft 3. Jena 1902. G. Fischer.

Notizen über einige Säugetierfaunen aus dem Miocän von Württemberg und Bayern. N. Jahrb. f. Min. etc. XIX. Beilage Bd., S. 485—502. Stuttgart 1904.

A. Schwarz, Flora der Umgegend von Nürnberg—Erlangen und des angrenzenden Teils des Fränkischen Jura. I oder allgemeiner Teil, S. 100—107. Nürnberg. 1897.

J. Schwertschlager, Altmühltal und Altmühlgebirge. Eine topographisch-geologische Schilderung. Eichstätt 1905. Brönnersche Buchdruckerei.

H. Thürach, Über einige wahrscheinlich glaciale Erscheinungen im nördlichen Bayern. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. XLVIII, S. 665—682. 1896. Berlin.

Über ein Vorkommen von Geschieben alpiner Gesteine bei Treuchtlingen nördlich des fränkischen Jura. Ebenda L, S. 623 bis 636. 1898. Berlin.

v. Voith, Beobachtungen über Kieselgebilde im allgemeinen und Silizifikation der organischen Reste insbesondere, gesammelt in den sekundären Gebirgsformationen des Regen-Kreises im Königreich Bayern. N. Jahrb. f. Min. 1836, S. 290—316.

Über das Atomgewicht des Wismuts.

Von Hans Mehler.

Aus dem chemischen Laboratorium der Universität Erlangen.

Einleitung.

Nicht leicht ist in der ganzen Chemie ein Gebiet zu finden, das in gleicher Weise so andauernd das Interesse aller Chemiker zu fesseln vermocht hätte, auf dem sich so viele und so hervorragende Forscher betätigt hätten, als die Erforschung der Atomgewichte der Elemente. Seit Lavoisier die quantitative Untersuchungsmethode in die Chemie einführte, versuchte man immer und immer wieder, die Verhältniszahlen, in denen die Elemente untereinander Verbindungen eingehen, mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen, und bewundernswert ist der Scharfsinn, mit dem immer neue Methoden aufgesucht, ältere geprüft und verfeinert wurden, um dieses Ziel möglichst vollkommen zu erreichen. Und wohl weiß man, daß dieser unendliche, leider immer auch heute noch so oft verkannte Aufwand an Mühe und peinlichster Sorgfalt nicht umsonst ist, denn die genaue Erforschung und Kenntnis der Atomgewichte ist die Grundlage der Chemie, soweit Maß und Zahl in Betracht kommen; sie lehrte uns die Unhaltbarkeit der Proutschen Hypothese, mit der sie den schönen Traum so vieler Chemiker vom Wasserstoff als Urmaterie zerstörte, sie führte uns aber andrerseits zum periodischen System der Elemente, auf Grund dessen, so sehr es noch des Ausbaus bedarf, sich doch wesentlich andere Spekulationen über das Wesen der Materie aufstellen lassen.

Bei Anerkennung der großen Wichtigkeit der genauesten Kenntnis der Atomgewichte wird man es begreiflich finden, warum A. Gutbier das Atomgewicht das Wismuts einer Revision unterzog, wenn man bedenkt, daß die von der internationalen Kommission für die Festsetzung der Atomgewichte

als die zuverlässigsten angesehenen Bestimmungen der Atomgewichtszahl dieses Elements ziemlich weit außerhalb der Grenzen der erreichbaren Genauigkeit liegen. Doch wollen wir diese Verhältnisse erst besprechen im Anschluß an eine kurze **Geschichte der Atomgewichtsbestimmungen des Wismuts**[1].

Als Berzelius[2]) mit der genauen Ermittelung der Atomgewichte — während der Jahre 1818 bis 1826 — die lange Reihe seiner klassischen Arbeiten begann, ermittelte er aus seinen und Lagerhjelms Forschungen das Atomgewicht des Wismuts zu 213. Lagerhjelm[3]) gelangte zu dieser Zahl durch Erforschung der Zusammensetzung des Wismutoxydes, -sulfides und -sulfates. Die Überführung von Metall in Oxyd lieferte 89,867% Wismut und 10,133% Sauerstoff, woraus sich das Atomgewicht zu 213 berechnet. Diesen Zahlen kann heute eine Bedeutung nicht mehr beigelegt werden, weil Lagerhjelm weder gereinigtes Metall, noch reine Säure zur Verfügung stand. Im Jahre 1851 veröffentlichte R. Schneider[4]) seine Arbeiten über das Atomgewicht des uns hier interessierenden Elementes, für welches er die Zahl 208,0 geltend machte, die sich lange Jahre hindurch ungeteilter Anerkennung von seiten aller zu erfreuen hatte. Schneider verfuhr folgendermaßen: er löste käufliches Wismut in Salpetersäure, versetzte die Lösung mit Wasser und reduzierte das so gefällte basische Wismutnitrat mit rohem, verkohltem Weinstein im hessischen Tiegel. Dieses Material diente ihm als Ausgangssubstanz; durch Verwandlung einer gewogenen Menge des Metalls in Nitrat und durch Glühen des letzteren bis zur Gewichtskonstanz ermittelte er für das Atomgewicht folgende Zahlen:

Angewendet Wismut	Erhalten Oxyd	Wismut in %	Sauerstoff in %	Atomgewicht O = 16
7,7975	8,6975	89,652	10,348	207,93
10,1785	11,3495	89,682	10,318	208,0
12,4040	13,8370	89,644	10,356	207,75
5,6420	6,2945	89,634	10,366	207,53.

[1]) Die Darstellung in diesem Abschnitt folgt vollständig derjenigen L. Birckenbach's in dessen Arbeit „Über das Atomgewicht des Wismuts". Inauguraldissertation, Erlangen 1905.

[2]) Berzelius, Schweigg. J. 17, 416. 1816.

[3]) Lagerhjelm, Schweigg. J. 17, 416. 1816; 18, 4. 1816.

[4]) Schneider, Pogg. Ann. 82, 303. 1851.

Da Schneider befürchtete, daß das durch Weinstein reduzierte Wismut als Verunreinigungen vielleicht noch Kalium und Kohle enthalten könne, reduzierte er zu weiteren Versuchen das aus dem Metall gewonnene Wismutoxyd im Wasserstoffstrom; mit dem so gereinigten Metall erhielt er fast die gleichen Resultate, nämlich:

Angewendet Wismut	Erhalten Oxyd	Wismut in %	Sauerstoff in %	Atomgewicht O = 16
4,3295	4,8290	89,656	10,344	208,01
6,2515	6,9720	89,666	10,334	208,24
3,1760	3,5425	89,655	10,345	207,99
5,1900	5,7890	89,653	10,347	207,95.

Gmelin[1]) fand für die Zusammensetzung des Wismutoxydes die Zahlen 89,67 % Wismut und 10,33 % Sauerstoff und schloß hieraus, daß das Atomgewicht auf 210 gesetzt werden müsse; da nähere Angaben seines Verfahrens nicht angeführt sind, hat sein gefundener Wert nur historisches Interesse.

Dumas[2]) analysierte im Jahre 1859 das Wismutchlorid und berechnete aus der verbrauchten Silbermenge das Atomgewicht des Elementes zu 210; diesem Werte wußte Dumas in einem Maße allgemeine Glaubwürdigkeit zu verschaffen, daß wir dieser Zahl noch heute in einigen Lehrbüchern[3]) begegnen; gleichwohl ist der von Dumas eingeschlagende Weg unzweifelhaft mit Fehlern behaftet, da das Chlorwismut stark hygroskopisch und nicht frei von Oxychlorid zu erhalten ist[4]). Die Dumas'schen Versuchsdaten sind in umstehender Tabelle enthalten; von diesen neun Versuchen akzeptierte Dumas indes nur die beiden letzten, zu welchen er die reinsten Fraktionen des Chlorids benutzt hatte.

3,506 g $BiCl_3$ erforderten	3,545 g Ag;	Atomgewicht daraus	213,93
1,149	1,168		212,2
1,5965	1,162		211,0
2,1767	2,225		210,47
3,0810	3,144		211,0
2,4158	2,470		210,39
1,7107	1,752		209,88
3,5230	3,605		210,08
5,2418	5,361		210,07.

[1]) Gmelin, Handbuch d. Chemie, 5. Aufl., II, 827. 1853.

[2]) Dumas, Ann. chim. et phys. 55, 176. 1859.

[3]) Graham-Otto, Lehrb. d. Chemie. 5. Aufl.

[4]) Vgl. hierzu die Bemerkungen von Schneider, J. pr. Chem. 30, 240. 1884, und Classen, Ber. deutsch. chem. Ges. 23, 937.

Im Jahre 1883 erschien eine ziemlich umfangreiche Arbeit von Marignac[1]) über den gleichen Gegenstand. Durch fraktionierte Fällung von basischem Wismutnitrat stellte sich Marignac Wismutoxyd her, von dessen Reinheit er überzeugt war, und welches er in Metall und in Sulfat überführte; dem gegenüber teilte später Classen[2]) mit, daß es unmöglich sei, durch Fällung eine Trennung des Wismuts von den anderen Metallen, insbesondere von Blei, zu erhalten. Durch Überführung von Wismutoxyd in Sulfat erhielt Marignac folgende Versuchsdaten:

Angewendet Wismutoxyd	Erhalten Sulfat	Atomgewicht S = 32,6
2,6503	4,0218	208,06
2,8025	4,2535	207,94
2,7100	4,112	208,13
2,813	4,627	208,33
2,875	4,362	208,11
2,794	4,238	208,36.

Marignac löste Wismutoxyd in Schwefelsäure und verdampfte zur Trockene; um die freie Säure zu beseitigen, erhitzte er den Rückstand, bis keine Dämpfe von Schwefelsäure mehr auftraten. Classen, der diese Verhältnisse später prüfte, ist der Meinung, daß es nicht gut möglich sei, die Temperatur so sicher zu treffen, daß nur freie Schwefelsäure entweicht und keine Zersetzung des Sulfates stattfindet.

Später erschien dann eine Arbeit von H. Bailey[3]), welcher sich unter anderem aus demselben Grund, den Classen geltend machte, gegen die Marignacschen Versuche aussprach. Bailey fand, daß die Temperaturen, bei welchen das Gewicht des Wismutsulfates konstant ist, und bei welchen dasselbe Zersetzungen erleidet, zwischen 405° und 418° C. liegen. Indessen verdient unzweifelhaft Marignacs Arbeit bei der großen Geschicklichkeit dieses genialen Forschers und bei ihren so gut übereinstimmenden Resultaten eine eingehende Beachtung; ebenso ist der von ihm aufgestellte Atomwert 208,0 gebührend zu berücksichtigen. Bailey bestimmt die Schwefelsäure in

[1]) Marignac, Ann. chim. 294. 1883; Ztschr. analyt. Chem. 23, 120. J. pr. Chem. 30, 244.

[2]) Classen, Ber. deutsch. chem. Ges. 23, 950.

[3]) H. Bailey, Journ. of the chem. Soc. 51, 681. 1887.

normalem schwefelsauren Wismut, welches er sich durch Erhitzen auf 405° darstellte. Aus zwei Versuchen berechnete er das Atomgewicht zu 208,33 und 208,44.

Im Jahre 1883 brachte Löwe[1]) eine Atomgewichtsbestimmung des Wismuts zur Mitteilung. Er reinigte sich das hierbei verwendete Metall, indem er eine salpetersaure Lösung des Elementes mit Ammoniak fällte und durch Waschen mit ammoniakalischem Wasser etwa vorhandenes Kupfer beseitigte. Den Rückstand löste er in einer Mischung von Natronlauge und Glyzerin, filtrierte von unlöslichen Hydroxyden (Eisen und Nickel) ab und fällte das Wismut durch Kochen mit Traubenzucker; nach sorgfältigem Auswaschen wurde das Metall mit Kohle im bedeckten Tiegel niedergeschmolzen. Zur Bestimmung wurde das Metall in reiner Salpetersäure gelöst und die Lösung in eine geräumige Platinschale von ermitteltem Gewicht gebracht. Auf dem Wasserbade wurde der Inhalt in festes, basisches Salz übergeführt; hierauf kam die Schale auf einen dünnen Tondeckel und wurde anfänglich mit kleiner Flamme, später mit großem Bunsenbrenner erwärmt. Nach dieser Operation erfolgte das Erhitzen auf freiem Feuer mit kleiner Flamme und schließlich mit ganzer Flamme bis zum Schmelzen des Oxydes. Auf diesem Wege erhielt Löwe für das Atomgewicht des Wismuts aus zwei Versuchen, bei der Annahme $O = 16$, die Werte: 207,66 und 208,03.

Im Jahre 1889 bestimmte A. Classen[2]) das Atomgewicht des Wismuts, wozu ihm physikalische Untersuchungen von van Aubel[3]) Veranlassung gaben. Dieser Forscher beobachtete den Einfluß der Temperatur auf den elektrischen Widerstand von Wismutstäbchen und bediente sich hierbei verschiedener, als chemisch rein bezogener Wismutsorten der Fabriken von Schering und Trommsdorf. Hierbei zeigten die aus den einzelnen Metallpräparaten erhaltenen Werte Differenzen, welche nach genauer chemischer und spektralanalytischer Prüfung aus zahlreichen Verunreinigungen in wechselnden Mengen abgeleitet werden konnten[4]).

---

[1]) Löwe, Ztschr. analyt. Chem. 22, 498. 1883.

[2]) Classen, Ber. deutsch. chem. Ges. 23, 938.

[3]) van Aubel, Ann. chim. et phys. VI. Serie XVIII.

[4]) Die Resultate, welche van Aubel bei der Untersuchung des

Classen bereitete sich reines Metall von ganz neuen Gesichtspunkten aus; er war durch verschiedene Untersuchungen zu der Überzeugung gekommen, daß reines Wismut weder aus käuflichem Metall noch aus reinstem Wismutnitrat zu gewinnen sei. Von anderen Metallen frei, besonders von Blei und Kupfer, erhielt Classen Wismut, als er es aus salpetersaurer Lösung durch einen Akkumulatorenstrom abschied[1]). Batterie- oder Maschinenstrom erwies sich als unbrauchbar; als positive Elektrode diente eine Platinschale, welche auf dem Boden des Becherglases durch eine Elektrode von gewöhnlicher Form[2]) festgehalten wurde; als negative Elektrode diente eine der bekannten kegelförmigen. Das in dem Metall enthaltene Blei schied sich als wismuthaltiges Bleisuperoxyd an der Anode ab.

Das auf diese Weise erhaltene Metall brachte Classen in Mengen von 20 bis 30 g in eine Platinschale von 90 mm Durchmesser und stellte diese in eine Platinschale von 120 mm Durchmesser. Erstere wurde mit einer Schale von 92 mm Durchmesser bedeckt und über diese eine 105 mm breite und 60 mm tiefe Platinschale gestülpt, derart, daß letztere den Boden der größten Schale berührte. Die Auflösung wurde durch verdünnte Salpetersäure auf dem Dampfbad bewirkt und die Flüssigkeit möglichst bei Luftabschluß verdampft; der Rückstand wurde zunächst 24 bis 48 Stunden bei 90°, dann langsam steigend bis 250° und schließlich bis zum Schmelzen des Oxydes erhitzt. Classen erhielt auf diese Weise ausgezeichnet übereinstimmende Resultate; es ergab sich als Durchschnitt von neun Versuchen die Zahl 208,923 zu Sauerstoff = 16.

---

elektrischen Leitungswiderstandes von reinem und unreinem Wismut unter dem Einfluß der Temperatur erhielt, siehe a. a. O. und Ber. 23, 643. — van Aubel untersuchte noch das spezifische Gewicht verschiedener Wismutsorten und fand auch, daß Verunreinigungen durch andere Elemente den Schmelzpunkt des Wismuts erheblich beeinflussen. Ber. 23, 944.

[1]) Dieses Metall war auch spektralanalytisch als rein befunden worden.

[2]) Classen, Quantitative Analyse durch Elektrolyse. 1. Aufl., S. 46 und Ber. deutsch. chem. Ges. 20, 2771 und 1096.

Angewendet Wismut	Erhalten Oxyd	Atomgewicht auf den luftleeren Raum reduziert.
25,0667	27,9442	209,0497
21,0691	23,4875	209,0672
27,2596	30,3922	208,8248
36,5195	40,7131	208,9801
27,9214	31,1295	208,86062
32,1188	35,8103	208,79693
30,1000	33,5587	208,8433
26,4825	29,5257	208,8314
19,8008	22,0758	208,8666.

Schneider[1]) kritisierte die Arbeit Classens und kam zu dem Schlusse, daß bei aller Anerkennung der von Classen auf seine Versuche unzweifelhaft verwendeten Mühe und Sorgfalt und bei der äußert gewissenhaften Prüfung des Für und Wider die Überzeugung nicht gewonnen werden könne, daß die von Classen gefundene Zahl 208,9 der Wahrheit näher liege als sein und Marignacs Wert 208,0.

Classen antwortete hierauf[2]), daß Schneiders Zahl auf alle Fälle angezweifelt werden müßte, da das Wismutnitrat nach seinen eigenen Untersuchungen selbst nach sechzehnmaliger Fällung aus stark verdünnter Lösung nicht rein zu erhalten sei, sondern noch Blei und andere Metalle enthielte. Das Blei habe er in dem Wismut des Handels in ganzen Prozenten gefunden, ebenso Eisen und Kupfer in ziemlichen Mengen. Die Reduktion mit unreinem Fluß und das Schmelzen im hessischen Tiegel verursachten außerdem Verunreinigungen von Silicium. Das alles müsse Schneiders Zahl diskreditieren und spreche für den von ihm gefundenen Wert 208,9.

Nochmals machte Schneider seine Einwände geltend[3]) und führte aus, daß seine Analysen von Rohwismut im Mittel den Gesamtgehalt von 0,18 % anderer Metalle nicht überschreiten; gleichzeitig unterzog er, um seine alten Bestimmungen zu kontrollieren, seine früher angewendete Methode einer Revision[4]). Hierbei wurde an Genauigkeit von ihm das höchste geleistet, was mit den zu Gebote stehenden Hilfsmitteln erzielt werden

[1]) Schneider, J. pr. Chem. 42, 553.
[2]) Classen, J. pr. Chem. 43, 133.
[3]) Schneider, J. pr. Chem. 44, 23.
[4]) Schneider, J. pr. Chem. 50, 461.

konnte. Schneider ging behufs Reindarstellung des Metalls von Wismutsubnitrat aus, löste dasselbe in der gerade nötigen Menge Salpetersäure, übersättigte mit Ammoniak und gab gelbes Schwefelammonium im Überschuß zu. Das abfiltrierte Schwefelwismut wurde mit verdünnter Salzsäure zur Entfernung von Spuren Eisen behandelt, abermals filtriert, gewaschen, getrocknet und mit starker Salpetersäure zersetzt; hierauf wurde die Lösung dekantiert und zur Trockene verdunstet. Den Rückstand behandelte Schneider nach dem Verteilen in Wasser so lange mit einer Natronlauge, bis im Filtrat Schwefelsäure nicht mehr nachzuweisen war. Das hinterbleibende Wismutoxyd wurde in Nitrat und dann in Subnitrat verwandelt, und hierauf die ganze Behandlung zweimal wiederholt. Das zuletzt erhaltene basische Nitrat wurde durch Glühen in Wismutoxyd verwandelt und dieses im Strome reinen Wasserstoffgases reduziert. Das auf diese umständliche Weise gereinigte Metall, in dem Schneider auch auf spektroskopischem Wege kein fremdes Element nachweisen konnte, löste er unter peinlichen Vorsichtsmaßregeln in frisch destillierter Salpetersäure und dampfte die Lösung im Tiegel von Berliner Porzellan auf dem Wasserbade ein; gegen Schluß des Abdampfens gab Schneider Wasser in den erkalteten Tiegelinhalt und dunstete weiter ab; später wurde der Tiegel vorsichtig im Luftbad und zuletzt zugedeckt über freier Flamme erhitzt.

Schneider erhielt so ein Atomgewicht von 208,05 und bestätigte auf diese Weise den früher erzielten Wert[1]).

Angewendet Wismut	Erhalten Oxyd	Atomgewicht O = 16
5,0092	5,5868	208,14
3,6770	4,1016	207,84
7,2493	8,0854	208,09
9,2479	10,3042	208,15
6,0945	6,7979	207,94
12,1588	13,5610	208,11.

Hierauf ergriff Classen[2]) noch einmal das Wort und betonte, daß das verschiedene Verhalten der Wismutsorten gegen

[1]) Auf die nähere Beschreibung der von Schneider angewandten Apparate und die Ausführung, wobei jeder Verlust aufs peinlichste vermieden wurde, kann hier nur verwiesen werden, J. pr. Chem. 50, 461.

[2]) Classen, J. pr. Chem. 44, 411.

den elektrischen Strom auf verschieden große Beimengungen schließen lasse. Die internationale Kommission für die Festsetzung der Atomgewichte konnte sich für keinen der beiden Werte entscheiden, da sicher sowohl von Schneider als von Classen die peinlichste Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit auf ihre Bestimmungen verwendet worden war. Sie war daher gezwungen, das Mittel von beiden Versuchen zu wählen und nahm also die Zahl 208,5 als Atomgewicht des Wismuts an. Doch kann natürlich diese Zahl keinen Anspruch auf Geltung haben, da die große Differenz von einer Einheit in den Bestimmungen Schneiders und Classens bisher noch keine Erklärung gefunden hat und die Zahl 208,5 unbedingt nicht richtig ist, sei nun der Wert Schneiders oder der Classens der Wahrheit näher, da es nur wenig zweifelhaft ist, daß nur diese beiden Werte in Frage kommen.

Um diese brennende Frage zu lösen entschloß sich A. Gutbier, im Verein mit mehreren Mitarbeitern eine Neubestimmung des Atomgewichts des Wismuts vorzunehmen und zu diesem Behufe unter Benutzung aller neueren Hilfsmittel das Oxyd, das Sulfat und ein Halogenid zu untersuchen. In dieser Arbeit nun sind die Resultate einer auf die Analyse des Wismutbromides aufgebauten Atomgewichtsbestimmung niedergelegt[2]).

Wahl der zu analysierenden Verbindung.

Nur einmal war bisher versucht worden, durch Analyse eines Wismuthalogenids die Bestimmung des Atomgewichtes des Wismuts auszuführen, als Dumas[2]) im Jahre 1859 den Chlorgehalt des Wismutchlorides durch Fällung mit Silber bestimmte. Er erhielt den viel zu hohen Wert 210,08, wobei aber auch die Analysen unter sich so sehr differieren, daß die Vermutung naheliegt, er habe kein reines, sondern oxychloridhaltiges Wismutchlorid zur Analyse gebracht, eine Vermutung,

---

[1]) Die Bestimmung des Atomgewichtes des Wismuts auf der Basis des Oxydes ist ebenfalls schon vollendet. Vgl. L. Birckenbach, Über das Atomgewicht des Wismuts. Inauguraldissertation, Erlangen 1905. — Mit der Synthese des Wismutsulfates ist R. L. Janssen beschäftigt.

[2]) Dumas, Ann. chim. et phys. 55, 176. (1859). S. auch S. 345.

die auch Schneider[1]) und Classen[2]) zum Ausdruck brachten. Es ist, wie auch wir auf Grund daraufhin gerichteter Versuche konstatieren müssen, nur unter ganz besonderen Vorsichtsmaßregeln möglich, ein trockenes und von hydrolytischen Zersetzungsprodukten freies Wismuthalogenid zu erhalten, und schon eine geringe Beimengung von Wismutoxyhalogenid vermag den Wert für das Atomgewicht beträchtlich in die Höhe zu schrauben.

Ein Beispiel wird dies erläutern. 1 g reines Wismutchlorid gibt 1,3662 g Silberchlorid. Ein wismutoxychloridhaltiges Wismutchlorid gibt bei einem Gehalte von 3 % BiOCl 1,3417 g AgCl[3]). Berechnet man aus letzterem Resultat das Atomgewicht des Wismuts unter der Annahme, daß man reines $BiCl_3$ analysiert habe, so erhält man den Wert Bi = 214,3. Eine Beimengung von 3 % BiOCl mag einigermaßen hoch erscheinen, ist aber nicht so unwahrscheinlich, wenn man die Schwierigkeiten kennt, die die Darstellung eines möglichst oxychloridfreien Wismutchlorides bietet. Tatsächlich hat nun Dumas bei seinem ersten Versuche den Wert 213,93 erhalten, und er selbst scheint diesem Wert wenig Zutrauen geschenkt zu haben, da er nur die zwei letzten von neun Versuchen akzeptierte, zu denen er die reinsten Fraktionen des Wismutchlorides benutzt hatte. Diese beiden Versuche lieferten die Werte 210,08 und 210,07. Da nun Dumas bei seinen Analysen das Wismutchlorid nicht unter völliger Abhaltung von feuchter Luft zur Wägung bringen konnte, so ist sicher die analysierte Substanz nicht frei von Oxychlorid gewesen; daher ist der hohe Wert zu erklären.

Später wurde von Schneider[4]) die Verwendung des Wismutjodides zur Atomgewichtsbestimmung vorgeschlagen. Daraufhin wurden von L. Birckenbach[5]) eine Reihe von Versuchen angestellt, um zu prüfen, ob das Wismutjodid diejenige Konstanz in seiner Zusammensetzung zeige, welche unumgänglich notwendig ist für die Wägungsform einer Verbindung be-

---

[1]) Schneider, J. pr. Chem. 30. 240. 1884.
[2]) Classen, Ber. deutsch. chem. Ges. 23, 937.
[3]) Bi = 208,5. Ag = 107,93. Cl = 35,45.
[4]) Schneider. J. pr. Chem. 50, 461.
[5]) Birckenbach, a. a. O., S. 24ff.

hufs Ermittelung des Wertes der Konstante einer ihrer Komponenten.

Die früheren Untersuchungen der Zusammensetzung des Wismutjodides hatten zu sehr abweichenden Resultaten geführt, um so mehr als das zu den einzelnen Versuchen benutzte Wismutjodid teils auf trockenem, teils auf nassem Wege dargestellt worden war; auf Grund unserer Erfahrungen, die sich mit den von L. Birckenbach gesammelten vollständig decken, ist kein Wismuthalogenid auf nassem Wege nur einigermaßen rein zu erhalten. Die bekannt gewordenen Analysen dieser Verbindung ergaben folgende Daten:

Rammelsberg	Bi 36,02—37,10 %	
Heintz . . .	Bi 36,0 —36,55 %	J 63,13—63,94 %
Arppe . . .	Bi 36,37 %	J 63,78 %
Schneider . .	Bi 35,68 %	J 64,56 %
Muir	Bi 35,44 %	

Rammelsberg[1]) und Arppe[2]) stellten sich Wismutjodid auf nassem Wege her, während Heintz[3]) und Muir[4]) sich dieses durch Erhitzen eines Gemenges beider Elemente in einer Atmosphäre von Wasserstoff bezw. Kohlendioxyd bereiteten. Schneider[5]) gewann Wismutjodid zu dem erwähnten Zwecke durch Sublimation eines Gemenges von Wismuttrisulfid mit Jod. L. Birckenbach versuchte reines Wismutjodid durch Sublimation eines Gemenges von reinem Wismut mit einem kleinen Überschuß an reinem Jod im Kohlendioxydstrom herzustellen. Er erhielt jedoch kein einheitliches Produkt, da das Sublimat sich teils als lebhaft metallglänzende Masse von kristallinischer Beschaffenheit, teils als abfärbende Masse ohne Metallglanz ansetzte. Auch in der Zusammensetzung erwies sich das Produkt nicht als einheitlich, da im Mittel von je vier mit größter Genauigkeit ausgeführten Analysen die kristallinische, metallglänzende Modifikation einen Gehalt von 36,20 % Bi und 64,29 % J zeigte, dagegen die nicht metallglänzende Modifikation einen Gehalt von 35,62 % Bi und 64.54 % J ergab.

[1]) Rammelsberg, Pogg. Ann. 48, 166.

[2]) Arppe, Pogg. Ann. 64, 248.

[3]) Heintz, Pogg. Ann. 63, 75.

[4]) Muir, Chem. Soc. J. 39, 33. 1881. Chem. Soc. J. 53, 137; J. B. 1888, 640. Chem. Soc. J. 33, 201. 1878.

[5]) Schneider, J. pr. Chem. 50, 463. Pogg. Ann. 99, 470.

Auch bei weiteren Sublimationen unter denselben Bedingungen erhielt L. Birckenbach fortwährend schwankende Resultate, so daß er es aufgab, weitere Experimente zur Darstellung des völlig reinen Wismutjodides zu machen, nachdem er mit einem auf nassem Wege dargestellten Materiale natürlich auch sehr schwankende Resultate erhalten hatte. Er folgert aus den Resultaten seiner Versuche, daß das Wismutjodid sich nicht als Basis für eine Atomgewichtsbestimmung eigne, da es weder auf trockenem noch auf nassem Wege in konstanter Zusammensetzung zu erhalten sei. Ob es möglich ist, das Wismutjodid auf dem von uns eingeschlagenen Wege in reinstem Zustande darzustellen, müssen erst weitere Untersuchungen lehren.

Zur Auswahl standen uns also nun noch das Chlorid und das Bromid. Warum wir uns schließlich für das Bromid entschieden, hat seinen Grund in folgendem: Allem Anschein nach ist das Atomgewicht des Chlors nicht mit der Genauigkeit festgestellt, welche eine Atomgewichtsbestimmung erfordert, insbesondere, wenn diese Atomgewichtsbestimmung, wie die unsrige, zur Kontrolle und Richtigstellung zweier Atomgewichtsbestimmungen dienen soll, die, nach der gleichen Methode ausgeführt, so verschiedene Werte lieferten wie die Schneidersche und die Classensche. Denn es darf wohl bereits hier darauf hingewiesen werden, daß gegenüber einer Methode, welche gestattet, direkt das Verhältnis von $O = 16$ zu der zu bestimmenden Konstante des jeweiligen Elementes festzuhalten, eine Methode, wie die unsrige, welche mit Konstanten arbeitet, die selbst wieder nur mehr oder weniger genau festgestellt sind, nur Wert als Kontrolle haben kann, sofern die erste Methode nicht überhaupt mit einem konstanten und unkontrollierbaren Fehler behaftet ist, der sie untauglich zu einer Atomgewichtsbestimmung machen würde. Dies ist aber bei der Überführung von Wismut in Wismutoxyd nach den Untersuchungen Birckenbachs[1]) nicht der Fall; man ist im Gegenteil berechtigt, metallisches Wismut und Wismutoxyd für die besten Wägungsformen dieses Elementes zu halten[2]).

[1]) L. Birckenbach, a. a. O., S. 54 und 57.

[2]) Inwieweit sich diese Ansicht mit der unsrigen deckt, das zu erörtern gibt sich später Gelegenheit.

Was nun die Konstante des Chlors anbetrifft, so haben schon Köthner und Äuer[1]) bei ihrer Neubestimmung des Atomgewichtes des Jods die Vermutung ausgesprochen, daß die Abweichung ihres sowie des von Ladenburg[2]) nach der gleichen Methode erhaltenen Wertes von dem bis dahin als vollkommen zuverlässig gehaltenen Werte von Stas zum Teil durch eine ungenaue Feststellung der Stasschen Konstante des Chlors bedingt sei. Nunmehr hat diese Vermutung ihre Bestätigung gefunden in einer Arbeit Baxters[3]) über das Atomgewicht des Jods, in der er mitteilt, daß von Richards und Wells eine Neubestimmung des Atomgewichtes des Chlors vorgenommen worden sei, die zu dem Werte 35,470 führte, ein Wert, den auch Baxter bestätigt, während die Stassche Konstante des Chlors den Wert 35,456 repräsentiert. Da die inzwischen erschienene Arbeit von Richards und Wells[4]) noch nicht von der Atomgewichtskommission beurteilt werden konnte, so blieb für uns nur übrig, bei der vorläufig noch bestehenden Unsicherheit von der Wahl des Chlorids abzusehen und das Bromid anzunehmen.

Bezüglich der Konstante des Broms scheint irgendwelche Unsicherheit bis jetzt nicht zu bestehen. Denn Richards[5]), der im Verein mit mehreren Mitarbeitern durch Analyse der Bromide mehrere durch außerordentliche Exaktheit ausgezeichnete Atomgewichtsbestimmungen verschiedener Elemente ausführte, hat bei mehreren vergleichenden Bestimmungen immer einen mit der Stasschen Konstante identischen Wert erhalten, und er selbst, heute wohl derjenige, der die größten Erfahrungen auf diesem Gebiete besitzt, bevorzugt jederzeit die Analyse der Bromide gegenüber anderen Bestimmungsmethoden. Außerdem gestattet das Brom die Anwendung eines außerordentlich zweckmäßigen Apparates, der von Richards und seinen Mitarbeitern bei der Bestimmung der Atomgewichte des Nickels und Kobalts angewendet wurde und in wenig ver-

[1]) Köthner und Äuer, Ann. 337, 365.
[2]) Ladenburg, Ber. deutsch. chem. Ges. 35, 2275. 1902.
[3]) G. P. Baxter, Ztschr. anorg. Chem. 43, 31. 1905.
[4]) Richards und Wells, Chem. Zentral-Blatt 1905, II, 1.
[5]) Richards und Cushmann, Proc. Amer. Acad. 33, 95. Ztschr. anorg. Chem. 16, 178.

änderter Form auch von uns zur Anwendung gelangte, wie wir später ausführen werden.

Nachdem wir uns über die zu untersuchende Verbindung im Klaren waren, schritten wir zur Aufklärung der Frage, ob sich das Wismutbromid in solcher Reinheit zur Analyse bringen lasse, daß es als Basis einer Atomgewichtsbestimmung dienen könne.

Vorversuche und Material.

Um den bei der Analyse einzuschlagenden Weg festzustellen, war eine Reihe von Vorversuchen nötig, zu der wir uns auf folgende von der definitiven Herstellungsart des reinen Materiales nur durch ihre größere Einfachheit verschiedene Weise eine genügende Menge Wismutbromid herstellten. Den dazu benützten Apparat veranschaulicht Figur 1.

Der Kolben A enthält konzentriertes Ammoniakwasser. Im Verbrennungsofen B liegt eine mit Spiralen aus Kupferdrahtnetz gefüllte Röhre aus schwer schmelzbarem Glase. Die Flaschen C und C_1 enthalten verdünnte Schwefelsäure, die Flaschen D und D_1 konzentrierte Schwefelsäure. Die Flasche E enthält trockenes Brom, und den Schluß macht die mit der Wasserstrahlluftpumpe G verbundene Verbrennungsröhre F, die gegen die Pumpe hin etwas nach abwärts geneigt ist. Die Verbrennungsröhre F wird mit dem mit Wismut gefüllten Porzellanschiffchen H beschickt, und nunmehr werden die Flammen des Verbrennungsofens B angezündet. Nachdem das in dem Ofen liegende Rohr auf dunkle Rotglut erhitzt ist, wird ein langsamer Luftstrom bei geöffnetem Hahn I durch den Apparat gesaugt. Die Luft sättigt sich zunächst beim Durchstreichen durch das konzentrierte Ammoniakwasser in Flasche A mit Ammoniak. Das entstandene Gemenge von Luft und Ammoniak passiert nun die glühenden Kupferspiralen, wobei der Wasserstoff des Ammoniaks auf Kosten des Luftsauerstoffs verbrannt wird. Das aus der Verbrennungsröhre entweichende Gemenge von Stickstoff und etwa noch vorhandenem überschüssigen Ammoniak wird in den mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Flaschen C und C_1 von Ammoniak befreit und der nunmehr reine Stickstoff[1]) in den Flaschen D und D_1 getrocknet. Er

[1]) Die im Stickstoff noch enthaltenen Verunreinigungen, vor allem Kohlendioxyd, sind unschädlich.

gelangt bei geöffnetem Hahn *I* durch das obere Rohr des Zweiwegrohres direkt in das Verbrennungsrohr *F* und von da in die Pumpe. Nachdem die Luft aus dem Apparat verdrängt ist, erhitzt man das Schiffchen *H* durch einen Breitbrenner und schließt den Hahn *I*. Dadurch wird der Stickstoffstrom gezwungen, seinen Weg durch das Brom in Flasche *E* zu nehmen. Er gelangt so, mit Bromdämpfen gesättigt, an das Schiffchen *H*, wo das Wismutbromid in dem Maße sich bildet, als Bromdampf hinzutritt. Das gebildete Wismutbromid verflüchtigt sich und kondensiert sich, zum Teil als hellgelbes Pulver, zum Teil in Gestalt rotgelber Tröpfchen, die bald zu einer gelben kristallinischen Masse erstarren, in dem etwas nach abwärts geneigten kalten Ende der Verbrennungsröhre *F*.

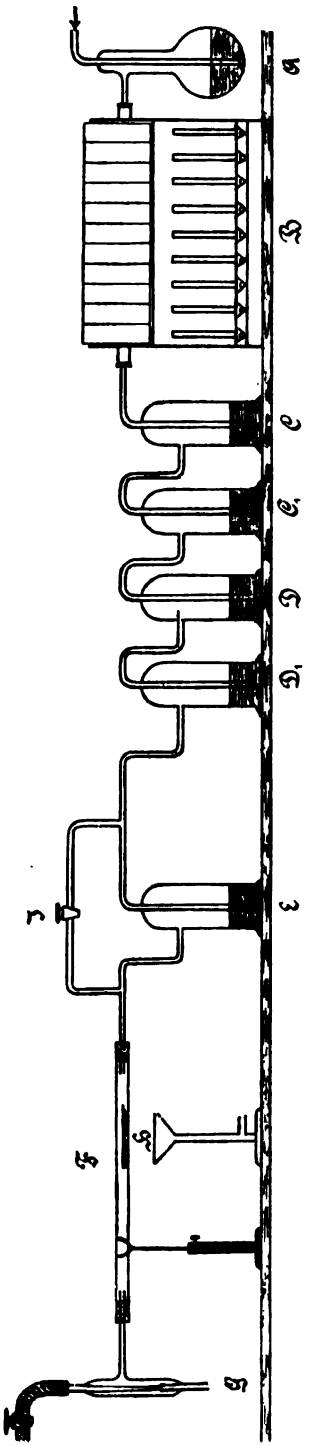


Fig. 1.

Nachdem sich nun genügend Sublimat angesammelt hatte, wurde das Erhitzen des Wismuts in *H* unterbrochen, der Hahn *I* wieder geöffnet und die Röhre *F* im Stickstoffstrom erkalten gelassen. Nach dem Erkalten wurde das in einem zusammenhängenden Stück sich leicht ablösende Sublimat rasch in einem getrockneten und gewärmten Porzellanmörser zerrieben und das Pulver in ein ebenfalls getrocknetes und gewärmtes, mit gut schließendem Glasstopfen versehenes Wägegläschen gebracht und im Exsikkator über Phosphorpentoxyd aufbewahrt.

Das so dargestellte Wismutbromid ist ein zitronengelbes Pulver, das sich mit Wasser sofort unter Abscheidung eines weißen basischen Salzes zersetzt, an der Luft Wasser anzieht und zerfließt. Geschmolzen ist es eine dunkelrote Flüssigkeit, die bei ca. 450° siedet und beim Erkalten zu einer gelben, kristallinischen Masse erstarrt.

Die nächste Frage war nun die nach einem geeigneten Lösungsmittel für das Wismutbromid. Natürlich konnte als solches nur verdünnte Salpetersäure in Frage kommen. Die Anwendung derselben bringt aber zwei Übelstände mit sich, mit deren Beseitigung die ganze Atomgewichtsbestimmung nach der Methode, wie wir sie vorhaben, steht und fällt. Einerseits muß die anzuwendende Säure genügend stark sein, um die Bildung und Mitausfällung basischer Salze zu verhindern, andererseits aber darf sie nicht zu konzentriert sein, um den bei der Auflösung des Wismutbromides entstehenden Bromwasserstoff nicht zu oxydieren. Tritt nämlich freies Brom auf, so wird dieses beim Hinzufügen von Silberlösung nicht quantitativ als Bromid gefüllt, sondern ein Sechstel des Broms geht als Bromsäure verloren, und man bekäme infolgedessen für Wismut ein zu hohes Atomgewicht. Das Ergebnis einer außerordentlich großen Anzahl diesbezüglicher Versuche war die Tatsache, daß eine doppeltnormale Salpetersäure am geeignetsten ist, beiden oben berührten Übelständen zu begegnen. Löst man z. B. schon Kaliumbromid in doppeltnormaler Salpetersäure, so ist weder durch Schwefelkohlenstoff und Chloroform, noch durch Stärkelösung freies Brom nachweisbar, andererseits löst sich Wismutbromid ziemlich leicht und vollständig in Salpetersäure von der angegebenen Stärke, und daß auch beim Versetzen mit Silbernitratlösung nach dem von uns beobachteten Verfahren keine Mitausfällung von basischem Salze eintritt, zeigen die nächsten Versuche.

Eine genau abgewogene Menge Wismutbromid wurde in $^2/_1$ n-Salpetersäure gelöst und die zur Ausfällung nötige Menge angesäuerter Silberlösung tropfenweise unter stetem Schütteln zugesetzt. Die Silberlösung wurde in folgender Weise hergestellt. 42,4925 g ganz besonders gereinigtes Silbernitrat wurden abgewogen, in einen Meßkolben von 250 ccm gebracht und so viel von einer genau titrierten, etwa fünffach normalen Salpetersäure

zugefügt, daß beim Auffüllen mit Wasser auf 250 ccm eine Normalsilberlösung entstand, deren Gehalt an freier Säure einer doppeltnormalen Salpetersäure entsprach. Von dieser Silberlösung wurde nur wenig mehr, als der theoretisch nötigen Menge[1]) entsprach, bei der Fällung nach obigem Verfahren angewandt.

Nach vollendeter Fällung ließ man den Niederschlag im Dunkeln absitzen. Die Filtration erfolgte durch einen Neubauertiegel. Der Niederschlag wurde so lange mit doppeltnormaler Salpetersäure gewaschen, bis im ablaufenden Filtrat weder eine Reaktion auf Silber, noch auf Wismut mehr zu konstatieren war, dann mit Wasser bis zum Aufhören der saueren Reaktion nachgewaschen und schließlich der Tiegel im Trockenschrank bei 105—110° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Zwei Analysen des Wismutbromids nach dieser Methode ergaben folgende Resultate:

I. Angewandt 1,0505 g $BiBr_3$. Gefunden 1,3212 g AgBr.
II. „ 1,5327 g $BiBr_3$. „ 1,9294 g AgBr.

Ausgerechnet ergibt sich:

I. 53,51% Br. II. 53,57% Br.

Aus diesen beiden Bestimmungen erhält man das Atomgewicht des Wismuts für

I. = 208,33; für II. = 207,91.

Der theoretische Gehalt des Wismutbromides an Brom ist

53,559% für Bi = 208
53,440% für Bi = 209.

Durch diese Analysen wurde bewiesen, daß das Wismutbromid auf dem von uns eingeschlagenen Wege leicht in konstanter Zusammensetzung zu erhalten sei, und daß wir, wenn wir schließlich die Bereitung des Analysenmateriales in einem ganz besonders gut konstruierten Apparate, wie er uns später zur Verfügung stand, vornehmen konnten, unbedingt ein allen Anforderungen entsprechendes Präparat erhalten mußten.

Noch aber war eine wichtige Frage zu entscheiden, nämlich: ob der gefundene hohe Prozentgehalt des Wismutbromides an Brom nicht davon herrühre, daß der Niederschlag nicht frei von Wismut erhalten werden könne. Um dies zu konstatieren,

[1]) Bei dieser Berechnung wurde Bi = 208 gesetzt.

wurde jeder der erhaltenen Niederschläge von Silberbromid mit reinstem Kaliumcyanid zusammengeschmolzen, der Rückstand zuerst mit Wasser, dann mit verdünnter Schwefelsäure und schließlich wieder mit Wasser peinlichst ausgewaschen und dann in konzentrierter Salpetersäure gelöst. Die Lösung wurde mit Ammoniak versetzt, bis der zuerst entstandene Niederschlag sich wieder gelöst hatte; dann wurde noch Ammoniumcarbonat zugesetzt. Auch nach tagelangem Stehen zeigte sich nicht eine Spur von einer Trübung, wodurch die Abwesenheit einer nachweisbaren Menge von Wismut bewiesen und somit auch die Frage nach der Anwendbarkeit der Methode bejaht wurde.

Um aber ganz sicher zu sein, daß in dem Niederschlage kein Wismut sich befinde, wurde noch ein quantitativer Versuch in folgender Weise ausgeführt.

Eine bestimmte Menge Wismutbromid wurde in $^2/_1$ n-Salpetersäure gelöst und das Brom als Silberbromid ausgefällt, wie oben angegeben. Der Niederschlag wurde durch einen äußerst genau gewogenen Neubauertiegel filtriert und in angegebener Weise mit Salpetersäure und Wasser gewaschen. Dann wurde der Niederschlag noch feucht im Tiegel mit konzentriertem Ammoniak übergossen, einige Zeit stehen gelassen und dann langsam abgesaugt. Dies wurde so oft wiederholt, bis das ablaufende Ammoniak nicht mehr auf Silber reagierte. Dann wurde noch mit Wasser bis zum Aufhören der Ammoniakreaktion gewaschen, der Tiegel wie vorher getrocknet und gewogen. Es zeigte sich, daß das Gewicht des Tiegels unverändert geblieben war, was nicht der Fall hätte sein können, wenn sich Wismut im Niederschlag befunden hätte.

Nachdem wir also sicher waren, daß durch Analyse des Wismutbromides unser Zweck wohl zu erreichen sei, gingen wir an die Herstellung chemisch reinen Materiales.

Von chemisch reinem Wismut standen uns zunächst drei Metallsorten zur Verfügung, von denen wir die eine der Güte des Herrn Geh. Rates Prof. Dr. A. Classen verdankten, die beiden anderen waren die von A. Gutbier unter peinlichster Befolgung der Originalvorschriften Schneiders und Classens hergestellten Wismutsorten; die vierte Sorte war von uns nach einem neuen Verfahren dargestellt.

I. Metallsorte. Es war das diejenige Metallsorte, welche

Herr Geh. Rat Prof. Dr. A. Classen zu seiner Atomgewichtsbestimmung benützt hatte und uns im Interesse der Wissenschaft mit größter Liebenswürdigkeit zur Verfügung gestellt hatte, wofür wir auch an dieser Stelle unseren herzlichsten Dank zum Ausdruck bringen. Sie war spektralanalytisch rein befunden worden.

II. Metallsorte. Von A. Gutbier und L. Birckenbach nach der Originalvorschrift Classens[1]) hergestellt. Sie verfuhren dabei folgendermaßen:

Reinstes Wismutoxychlorid der Firma Merck wurde in konzentrierter frisch destillierter Salzsäure gelöst und unter Umrühren mit Alkohol versetzt. Die filtrierte Wismutlösung verteilten sie in zehn Bechergläser von je vier Liter Inhalt und fällten das Wismut durch Hinzufügen von frisch destilliertem und filtriertem Wasser als Oxychlorid aus. Die über den Niederschlägen stehende Flüssigkeit wurde abgegossen und mehrmals mit der gleichen Menge Wasser versetzt, wodurch nur drei Fünftel des Wismutes als Oxychlorid gefällt wurden. Die Niederschläge wurden mit Wasser dekantiert und so lange gewaschen, bis im Filtrat keine Salzsäure mehr nachweisbar war; dann wurde der Niederschlag von neuem in Salzsäure gelöst und mit Wasser ausgefällt. Das ganze Verfahren wurde in dieser Weise zwölfmal wiederholt. Das schließlich gewonnene Oxychlorid wurde sehr sorgfältig ausgewaschen und nach dem Trocknen in Salzsäure gelöst; hierauf verdünnte man mit Wasser, filtrierte und fällte mit frisch bereitetem Ammoniak und Ammoniumcarbonat wiederholt aus. Diese ganze Operation wurde dreimal hintereinander ausgeführt. Endlich löste man die mit Wasser ausgewaschenen Niederschläge in Salzsäure und stellte durch Wasser nochmals Wismutoxychlorid her, welches nach dem Dekantieren und Trocknen mit reinstem Cyankalium im Porzellantiegel zu Metall reduziert wurde. Der Regulus wurde noch einmal unter Cyankalium umgeschmolzen und dann poliert.

Das auf diese Weise erhaltene Metall wurde in reinster Salpetersäure gelöst, die Lösung bis zur Abscheidung mit reinem Ammoniak versetzt und durch einige Tropfen Salpetersäure die klare Lösung wieder hergestellt, hierauf 50 ccm

[1]) A. Classen, Ber. deutsch. chem. Ges. 23, 950; L. Birckenbach, a. a. O., S. 21.

Salpetersäure zugegeben und mit viel Wasser verdünnt. Die Lösung wurde nun der Elektrolyse unterworfen. Als Anode diente ein sehr dünnes Platinblech, während als Kathode ein Platinnetz angewendet wurde.

Sie begannen den Versuch mit einer Stromstärke von 1,5 Ampère und 2,5 Volt und bemerkten gleich zu Anfang der Stromwirkung das Auftreten eines bronzefarbenen Beschlages an der Anode, der sich mit der Zeit sehr vermehrte und zu Boden setzte; an der Kathode schied sich mit silberweißer Farbe Wismut ab, das in kristallinischen Zweigen und Ästen weiterwuchs. Dasselbe wurde mit Alkohol und Äther abgewaschen, hierauf mit Cyankalium im Porzellantiegel mehrmals umgeschmolzen und poliert.

III. Metallsorte. Von A. Gutbier und L. Birckenbach nach der Originalvorschrift Schneiders[1]) hergestellt.

Sie lösten je 280 g chemisch reinstes, erst noch dreimal umgefälltes Wismutsubnitrat der Firma Merck in der nötigen Menge Salpetersäure vom spez. Gew. 1,5; die Lösung wurde mit frisch bereitetem Ammoniak übersättigt und mit frisch bereitetem Schwefelammonium in genügendem Überschuß versetzt. Nach längerem Digerieren filtrierten sie vom Schwefelwismut ab, behandelten dieses nach dem Auswaschen mit verdünnter reiner, frisch bereiteter Salzsäure, um jede Spur des eventuell vorhandenen Eisens zu entfernen. Der ausgewaschene Rückstand wurde in ein großes Becherglas gegeben und 24 Stunden lang mit reiner, verdünnter Salzsäure dekantiert, wobei die Säure sechsmal erneuert wurde; dann wurde das Produkt mit Wasser dekantiert, bis dieses neutral reagierte, abfiltriert und auf dem Wasserbade scharf getrocknet. Das getrocknete Wismutsulfid zersetzten sie mit reiner starker Salpetersäure, erhitzten die Lösung so lange, bis keine roten Dämpfe mehr auftraten, verdünnten mäßig mit Wasser, beseitigten den ausgeschiedenen Schwefel durch mehrfache Filtration und verdampften zur Trockene. Der Rückstand wurde in Wasser verteilt und wiederholt mit überschüssiger Natronlauge[2]) digeriert, bis das Filtrat keine Schwefelsäurereaktion mehr gab. Die vollständige Ent-

[1]) Schneider, J. pr. Chem. 50, 461; L. Birckenbach, a. a. O., S. 20.

[2]) Die Natronlauge war aus metallischem Natrium mit reinstem Wasser bereitet.

fernung der aus Einwirkung der Salpetersäure auf das Schwefelwismut entstandenen Schwefelsäure war deshalb dringend notwendig, weil sonst stets etwas basisches Wismutsulfat mitgefällt wird, wenn später das basische Nitrat abgeschieden werden soll.

Das hinterbliebene, sorgfältig ausgewaschene Wismutoxyd wurde in Salpetersäure gelöst, die Lösung zur Kristallisation abgedampft, die Kristalle nach Beseitigung der Mutterlauge mit stark verdünnter Salpetersäure abgewaschen und auf bekannte Weise in basisches Nitrat verwandelt. Letzteres wurde nach dem Auswaschen wieder ein Salpetersäure gelöst, worauf sie mit der Lösung und mit dem Kristallanschuß genau ebenso verfuhren wie zuerst. Dieselbe Operation wiederholten sie noch einmal. Das dann zuletzt erhaltene basische Nitrat wurde nach dem Trocknen durch Glühen in Wismutoxyd verwandelt und dies im Strom von reinem Wasserstoffgas reduziert; schließlich wurde dasselbe mit Cyankalium umgeschmolzen und poliert.

IV. Metallsorte. Die Herstellungsart dieser Sorte unterscheidet sich von allen anderen hauptsächlich durch die Vorreinigung, während bei der Elektrolyse des gereinigten Materials im wesentlichen Classens Vorschriften befolgt wurden.

Zur vorläufigen Reinigung wurde käufliches Wismutmetall in Salpetersäure gelöst und aus der Lösung durch Zusatz von viel Wasser als basisches Nitrat gefällt. Der Niederschlag wurde sorgfältigst mit Wasser gewaschen, dann durch Salpetersäure wieder in Lösung gebracht und die gleiche Prozedur wiederholt. Das so erhaltene, doppelt gefällte basische Wismutnitrat wurde wieder mit Salpetersäure in Lösung gebracht, zu der konzentrierten, stark sauren Lösung eine konzentrierte Lösung von reinster, mehrmals umkristallisierter Oxalsäure im Überschuß gegeben und nach gehöriger Durchmischung mit einer großen Menge Wasser versetzt. Das ausgefallene Wismutoxalat wurde nunmehr bis zum Verschwinden der Salpetersäurereaktion mit Wasser gewaschen, getrocknet und unter einer Decke von ausgeglühtem Kienruß geglüht. Der erhaltene Regulus wurde dann unter reinstem Cyankalium mehrmals umgeschmolzen.

Zur Elektrolyse wurde der Regulus wieder in Salpetersäure gelöst, in einer Platinschale stark eingedampft und mit Wasser bis zur beginnenden Trübung versetzt. Dann wurde die Flüssigkeit nach Lösung der Abscheidung der Elek-

trolyse unterworfen, wobei die Platinschale als Anode und eine runde Platinscheibe als Kathode diente. Die Stromstärke betrug 0,5—0,6 Ampère bei 3—5 Volt Klemmenspannung. Als Stromquelle diente die Akkumulatorenbatterie des Labaratoriums. Selbstverständlich wurden während der Elektrolyse alle Vorsichtsmaßregeln getroffen, um irgendwelche Verunreinigungen abzuhalten und in einem Raum gearbeitet, der absolute Garantie gegen das Eindringen schädlicher Gase, z. B. H_2S, bot.

Das Wismut schied sich unter diesen Bedingungen zum Teil kristallinisch, zum Teil in großen, gut ausgebildeten Kristallen an der Kathode ab.

Bei dieser Gelegenheit bemerkten auch wir einen gelbbraunen Anflug an der Anode[1]), der Bleisuperoxyd schon aus dem Grunde nicht sein kann, weil er sich bei Unterbrechungen der Elektrolyse, die nötig waren, um das abgeschiedene Metall an der Kathode abzulösen, in kurzer Zeit wieder auflöste. Wenn sich immer eine genügende Menge Wismut an der Kathode abgeschieden hatte, wurde die Elektrolyse unterbrochen, die Kathode zuerst mit verdünnter Salpetersäure, dann nach und nach mit Wasser, Alkohol und Äther abgespült und getrocknet. Durch Biegen des Kathodenbleches gelang es leicht, das in spröden Krusten abgeschiedene Wismut von der Kathode zu trennen. Das Metall wurde bis zum Gebrauche in einem mit gutschließendem Glasstopfen versehenen Wägeglas im Exsikkator aufbewahrt.

Zur Darstellung chemisch reiner Salpetersäure verfuhren wir folgendermaßen:

Jeweils 80 ccm reinster, rauchender Salpetersäure der Firma Merck wurden in einer Platinretorte der Destillation unterworfen unter Verwerfung des Vorlaufs von 20 ccm und des Restes von 20 ccm, so daß bei jeder Destillation nur der Mittellauf von 40 ccm aufgefangen wurde. Mit der so gewonnenen Säure wurde in gleicher Weise noch einmal verfahren. Als Konden-

[1]) L. Birckenbach untersuchte den abgeschiedenen Körper, wobei sich derselbe als absolut bleifrei erwies. Er stellte sich als ein Wismutperoxyd heraus. L. Birckenbach, a. a. O., S. 35. A. Gutbier hat im Verein mit R. Bünz den Körper näher untersucht. Vgl. R. Bünz, Experimentaluntersuchung über die Wismutperoxyde. Inaugauraldissertation, Erlangen 1905.

sationsrohr diente die Kühlröhre eines Liebigschen Kühlers, die im hiesigen Labaratorium seit Jahren zu diesem Zwecke im Gebrauch ist und vorher peinlichst gereinigt und mit Salpetersäure ausgekocht war. Außerdem wurde noch die Vorsicht beachtet, die ersten Destillate wegen der eventuell aus dem Glase aufgenommenen Verunreinigungen ganz zu verwerfen.

Die so gewonnene Säure erwies sich als absolut chlor- und eisenfrei, hinterließ auch beim vorsichtigen Abdampfen in einer Platinschale keinen sicht- und wägbaren Rückstand.

Chemisch reines Silber erhielten wir, indem wir reinstes, von der deutschen Gold- und Silberscheideanstalt bezogenes Silber nach dem bekannten Verfahren von Stas reinigten. Das in der Fabrik elektrolytisch abgeschiedene Silber wurde in reinster Salpetersäure gelöst und die Lösung mit so viel reinstem, frisch bereitetem Ammoniakwasser versetzt, bis der zuerst entstandene Niederschlag wieder in Lösung gegangen war. Nach Zufügung von etwas ammoniakalischer Kupferoxydlösung wurde dann reinstes, frisch bereitetes Ammoniumsulfit in geringem Überschuß zugesetzt und die Flüssigkeit längere Zeit mäßig erwärmt. Das in feinverteilter Form abgeschiedene Silber wurde nunmehr sukzessive mit Ammoniumsulfitlösung, Ammoniak und Wasser gewaschen, getrocknet, im Vakuum geglüht und im evakuierten Exsikkator über Phosphorpentoxyd aufbewahrt.

Chemisch reines Brom wurde auf folgendem Wege erhalten.

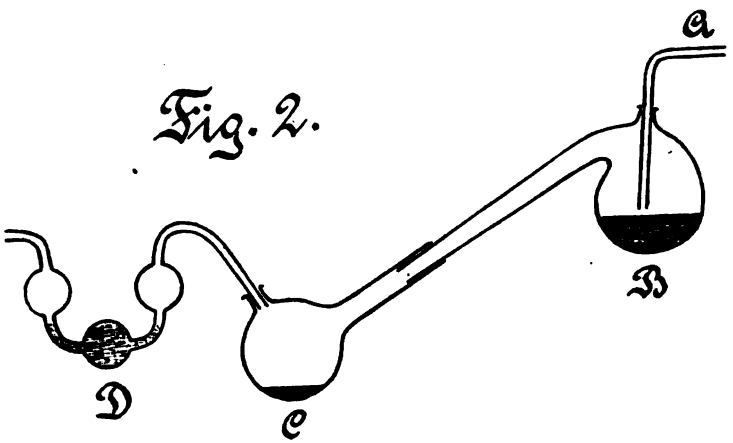
Reines Brom der Firma Merck wurde in einer konzentrierten Lösung von reinem Calciumbromid gelöst, die Lösung längere Zeit stehen gelassen, durch Verdünnen mit viel Wasser das Brom wieder ausgefällt, von der Lösung getrennt und durch längeres Stehen über geschmolzenem Calciumbromid getrocknet. Das so gereinigte Brom wurde der Destillation unterworfen, wozu folgender Apparat diente (Fig. 2).

Durch ein Rohr *A*, das in den Tubus der Retorte *B* eingeschliffen ist und bis in die Mitte der Retorte reicht, tritt ein langsamer Strom gereinigten und sorgfältigst getrockneten Kohlendioxydes ein. Nachdem alle Luft aus dem vorher peinlichst gereinigten und getrockneten Apparat verdrängt ist, wird das oben erhaltene Brom durch den Tubus rasch eingefüllt und im Strome von Kohlendioxyd der Destillation unterworfen. Es sammelt sich in der an die Retorte angeschliffenen mit Eis

gekühlten Vorlage *C* an, während das Kohlendioxyd durch den in den Tubus der Vorlage eingeschliffenen, mit konzentrierter reiner Schwefelsäure beschickten Kugelapparat *D* entweicht. Das erhaltene Brom wurde unter den gleichen Vorsichtsmaßregeln nochmals destilliert und dann bis zum Gebrauch in einer mit tadellos eingeschliffenem Glasstopfen versehenen Kappenflasche aufbewahrt.

Chemisch reines Wasser endlich wurde erhalten, indem destilliertes Wasser zuerst mit Kalk, dann mit Kaliumpermanganat versetzt der Destillation aus einer Platinretorte unterworfen wurde, wobei als Kühlröhre ein Rohr aus chemisch reinem Zinn diente. Auch hier wurde, wie oben bei der Destillation der reinen Salpetersäure angegeben, immer nur der Mittellauf aufgefangen

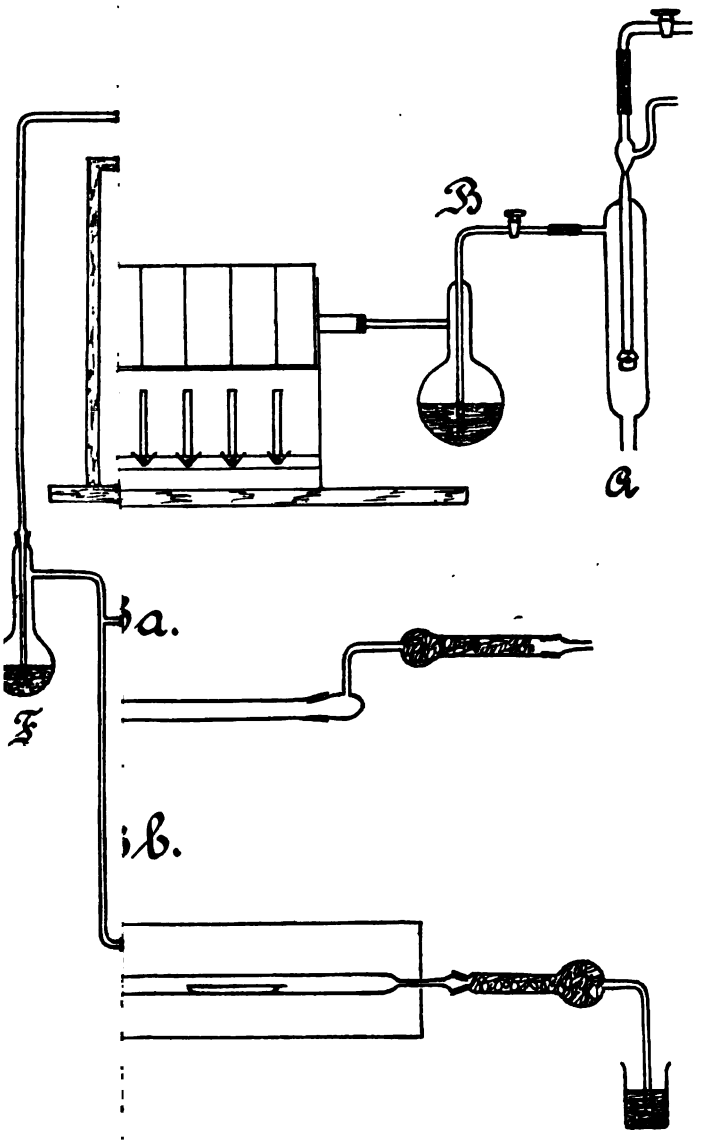
Fig. 2.



Nachdem wir nun die nötigen Materialien hatten, konnten wir an die Herstellung des chemisch reinen Wismutbromids gehen. Der Apparat, den wir hierzu benutzten, ist in Fig. 3 schematisch dargestellt. Er ist mit geringen Abänderungen derselbe, den Richards und seine Mitarbeiter bei der Atomgewichtsbestimmung des Nickels und Kobalts benutzten [1]). Wir wollen nun eine genaue Beschreibung des Apparates sowie seiner Anwendungsweise geben.

A ist ein Stuhlsches Wasserstrahlgebläse, mit dessen Hilfe man einen kräftigen Luftstrom erzeugen kann, der zunächst

[1]) Richards und Baxter, Ztschr. anorg. Chem. 16, 872.


B
A
F
a.
b.

ge
in
rei
Da
reg
mi
fla

de
ve
wu
die
Sa

=

wir
geh
sch
der
gew
wol
sein

man

durch die mit konzentriertem Ammoniakwasser beschickte Flasche *B* hindurchgepreßt wird, von wo aus er, mit Ammoniak gesättigt, durch das mit Kupferspiralen gefüllte, im Verbrennungsofen *C* liegende und bis zur Rotglut erhitzte Porzellanrohr streicht. Hier wird der Wasserstoff des Ammoniaks auf Kosten des Luftsauerstoffes oxydiert, so daß aus dem Porzellanrohr ein Gemenge von Stickstoff, Ammoniak und Wasser entweicht. Das Wasser kondensiert sich großenteils in der Kugelröhre *D*, aus der es durch Öffnen des mit einem Quetschhahne geschlossenen unteren Ansatzrohres abgelassen werden kann. Dadurch wird vermieden, daß kondensiertes Wasser in die heiße Porzellanröhre zurückfließt. Wir brachten diese Kugelröhre erst später an, nachdem wir vorher durch Zurückfließen von Wasser unangenehme Erfahrungen insofern machen mußten, als das heiße Porzellanrohr zersprang.

Nunmehr passiert das Gasgemenge 3 Waschflaschen, die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt sind. Hier wird das Gemenge von Ammoniak befreit und gelangt in den Reinigungsapparat *E*. Derselbe besteht aus 5, etwa 40 cm langen Türmen, die mit Glasperlen gefüllt sind. Sie sind oben zuerst verengert, dann trichterförmig erweitert und in der Verengung ist ein Glasstab, der oben einen Griff besitzt, eingeschliffen. Nach Entfernung dieser Stäbe können die im Turm befindlichen Glasperlen mit der Reinigungsflüssigkeit überrieselt werden, wobei die Flüssigkeit durch die unteren, heberförmig gebogenen Ansätze der Türme in vorgestellte Bechergläser läuft. Im ersten dieser Türme werden die Perlen mit Silbernitrat übergossen, um den Gasstrom von den, von den Gummiverbindungen herrührenden Verunreinigungen zu befreien[1]). In den übrigen 4 Türmen sind die Perlen mit konzentrierter reiner Schwefelsäure benetzt. Der nun vollständig reine und trockene Stickstoffstrom passiert nach dem Verlassen des Apparates *E* die mit konzentrierter Schwefelsäure beschickte Flasche *F*, die verhindert, daß ein Zurückweichen von Gasen und Dämpfen eintritt, und ist nun gezwungen je nach der Hahnstellung verschiedene Wege einzuschlagen. Öffnet man Hahn H_3 und schließt Hahn

[1]) Vom Eintritt in den Reinigungsapparat *E* an sind alle Teile des Apparates ineinander eingeschliffen.

H_1, so gelangt der Stickstoffstrom durch das mit Phosphorpentoxyd gefüllte Kugelrohr M_2 direkt in die später zu beschreibenden, an den Apparat durch Schliffe ansetzbaren Röhren Fig. 3*a* oder Fig. 3*b*. Schließt man Hahn H_3 und öffnet man H_1 und H_2, so ist der Stickstoffstrom gezwungen, durch das in G enthaltene Brom, hindurchzustreichen, von wo aus er, mit Bromdämpfen gesättigt, durch das ebenfalls mit Phosphorpentoxyd gefüllte Kugelrohr M_1 in die jeweils vorgelegte Röhre gelangt. Bei geöffnetem Hahn H_1 und geschlossenen Hähnen H_2 und H_3 endlich gelangt der Stickstoffstrom durch G, mit Bromdämpfen beladen, in die Flasche I, die roten Phosphor und konzentrierte Bromwasserstoffsäure enthält. Durch Umsetzung des mitgeführten Broms in Bromwasserstoff nach der Gleichung: $P + 3\,Br + 3\,H_2\,O = P(OH)_3 + 3\,HBr$ beladet sich der Stickstoff mit Bromwasserstoff. Das Gasgemenge passiert nun zur Entfernung der letzten Spuren von Brom das U-Rohr K, in dem sich mit rotem Phosphor und Bromwasserstoff benetzte Glasperlen befinden, gelangt zur Trocknung in das mit geschmolzenem Calciumbromid gefüllte Rohr L, dann in das mit Phosphorpentoxyd gefüllte Kugelrohr M_1 und von da in die vorgelegte Röhre.

So kompliziert dieser Apparat erscheint, so einfach und zweckentsprechend ist seine Handhabung, indem er durch einfache Umstellung eines oder zweier Hähne erlaubt, nach Belieben reinen Stickstoff, oder ein Gemenge von Stickstoff mit Brom oder Bromwasserstoff herzustellen, eine Eigenschaft, von der wir später ausgedehnten Gebrauch machten.

Zur Darstellung des reinen Wismutbromids wurde nun die in Fig. 3*a* abgebildete Röhre durch einen Glasschliff an den oben besprochenen Apparat angesetzt. Die Röhre ist aus schwer schmelzbarem Glase, an deren einem Ende eine Kugelröhre in der veranschaulichten Weise eingeschliffen ist. Diese Kugelröhre wurde mit geschmolzenem Calciumbromid gefüllt. Nachdem das mit Wismut gefüllte Schiffchen in die Röhre gebracht worden war, wurde der Apparat in Betrieb gesetzt, wobei vorläufig Hahn H_1 und H_2 geschlossen, H_3 geöffnet war. Nachdem alle Luft aus dem Apparat entfernt war, wurde Hahn H_1 und H_2 geöffnet, H_3 geschlossen und das Schiffchen mit einem Breitbrenner erhitzt. Es bildete sich das Wismutbromid in der schon beschriebenen Weise und wurde, nachdem sich eine genügende

Menge angesammelt hatte, in der angegebenen Weise aus dem Rohre entfernt, zerrieben, in ein Wägegläschen eingefüllt und im Exsikkator über Phosphorpentoxyd aufbewahrt.

Wir erhielten so aus den vier verschiedenen Sorten Wismut vier Sorten Wismutbromid, deren Numerierung den Nummern des metallischen Wismuts entspricht.

Nunmehr konnten wir mit der

Ausführung der Analysen

beginnen.

Ein ausgeglühtes Platinschiffchen wurde mit Wismutbromid gefüllt und in den in Fig. 3*b* veranschaulichten Apparat gebracht, der an Stelle der in Fig. 3*a* abgebildeten Röhre mit dem großen Apparat durch Glasschliff verbunden wurde. Derselbe dient zur Trocknung des Wismutbromids vor der Wägung und zur Umwandlung des etwa entstandenen Oxybromides in Bromid. Er besteht aus zwei Glasröhren, deren eine das Wägerohr aufnimmt, in dem das Schiffchen zur Wägung gelangt. Der dazugehörige Glasstopfen liegt in einer kleinen Ausbuchtung der Röhre. An diese erste, im Bilde links befindliche Röhre ist die zweite angeschliffen, die zur Aufnahme des Schiffchens dient, und an sie wieder ist eine Kugelröhre angeschliffen, die mit geschmolzenem Calciumbromid gefüllt ist. Das Ganze kann in einem Asbestofen mittelst eines Heizrohres erhitzt werden, außerdem sind im Deckel des Asbestkastens Thermometer angebracht, die gestatten, die Temperatur im Innern genau zu verfolgen. Nachdem nun das Platinschiffchen mit dem Wismutbromid in den Apparat gebracht ist, wird derselbe in Gang gesetzt und zunächst durch reinen Stickstoff alle Luft verdrängt. Dann wird durch Schließung der Hähne H_3 und H_2 und bei offenem Hahne H_1 der Stickstoff gezwungen, seinen Weg durch die Flaschen G und I zu nehmen, so daß er nun, mit Bromwasserstoff beladen, völlig getrocknet in den Apparat 3*b* kommt. Dieser wird mittelst des Heizrohres auf 130. bis 150° erhitzt und ca. 3 Stunden lang bei dieser Temperatur das Stickstoff-Bromwasserstoffgemenge übergeleitet. Dann werden die Flammen unter dem Asbestofen ausgelöscht und während des Erkaltens wieder reiner Stickstoff durch den Apparat geleitet. Ohne daß das Durchleiten des Stickstoffs unterbrochen wird, wird nun

die am Ende des Apparates befindliche Kugelröhre abgenommen und das Schiffchen mit Hilfe eines in einen langen Glasstab eingeschmolzenen, hackenförmig gebogenen Platindrahtes in das Wägeglas geschoben und mittelst desselben Stabes der Stopfen aus der Ausbuchtung geholt und in das Wägeglas gedrückt, so daß dieses verschlossen war. Dann wird der Apparat 3*b* von dem großen Apparat abgenommen, auseinandergenommen, das Wägeglas herausgeholt und in einen Phosphorpentoxydexsikkator gebracht, wo es noch mehrere Stunden bis zur Wägung verweilt. Auf diese Weise wird erzielt, daß das Wismutbromid völlig trocken und frei von Oxybromid erhalten wird, da es bis zum Verbringen in das Gefäß, in dem die Fällung vorgenommen wird, mit Luft nicht in Berührung kommt, und etwa vorher, beim Zerreiben des Wismutbromids und beim Einfüllen in das Schiffchen, gebildetes Oxybromid durch die Einwirkung des Bromwasserstoffs wieder in Bromid verwandelt wird.

Das Wägeglas wurde nun genau gewogen und dann die ganze Prozedur wiederholt, um zu sehen, ob sich kein Gewichtsunterschied feststellen lasse, der gezeigt haben würde, daß das Bromid noch nicht analysenrein sei. Obwohl sich keine Gewichtsdifferenz zeigte und somit die Wiederholung der Prozedur unnötig war, wurde doch bei allen Bestimmungen das doppelte Erhitzen der Sicherheit halber vorgenommen. Auf diese Weise wurde das Bruttogewicht des Wismutbromides, des Schiffchens und des Wägeglases ermittelt. Dann wurde das Wismutbromid rasch aus dem Schiffchen in den nachher zu beschreibenden Fällungskolben gebracht, worin es sofort weiter behandelt wurde, wie unten angegeben. Das Schiffchen wurde mit den in ihm hängen gebliebenen geringen Resten von Wismutbromid wieder in den Apparat 3*b* gebracht und genau so behandelt wie vorher. Dann wurde es wieder gewogen, und die Differenz aus der ersten und dieser zweiten Wägung ergab das Gewicht des angewandten Wismutbromides. Wir hielten diese Art des Wägeverfahrens für besser, als zuerst die Tara der Gefäße zu ermitteln und dann alles Wismutbromid aus dem Schiffchen mittelst doppeltnormaler Salpetersäure herauszuspülen, weil im Moment, wo die Salpetersäure mit dem Wismutbromid in Berührung kommt, sich immer etwas Wismutoxybromid bildet, welches fest haften bleibt und sich nur langsam löst. Bei der

Zeit, die die völlige Lösung beansprucht, sind aber Verluste von Bromwasserstoff aus der sauren Lösung sehr wahrscheinlich.

Den Apparat, in dem die Fällung des Silberbromids vorgenommen wurde, veranschaulicht Fig. 4.

In einen Erlenmeyerkolben von 1 Liter Inhalt mit sehr weitem Hals ist ein Tropftrichter eingeschliffen, dessen Ausflußrohr in $^1/_3$ Höhe des Kolbens endigt; oben ist am Kolben ein seitlicher Tubus angebracht, in den eine Péligotröhre eingeschliffen ist. Die Péligotröhre dient zur Aufnahme von doppeltnormaler Salpetersäure, die mit einigen Kubikzentimetern Silberlösung versetzt ist.

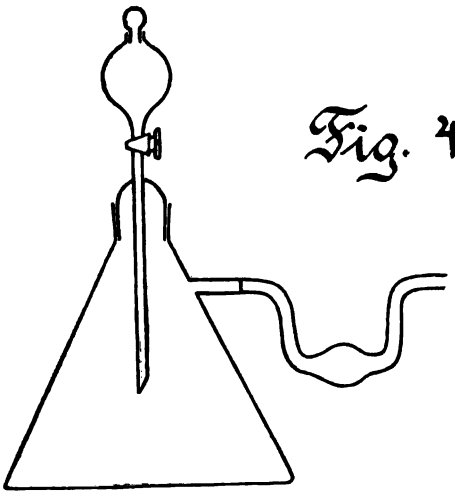


Fig. 4.

In diesen Kolben wurde also das Wismutbromid gebracht, dann der Kolben durch Aufsetzen des Trichterrohres und Einsetzen der in oben beschriebener Weise beschickten Péligotröhre verschlossen und nunmehr durch das Trichterrohr doppeltnormale Salpetersäure zufließen gelassen. Unter häufigem vorsichtigen Umschwenken löste sich das Wismutbromid nach einiger Zeit.

Dann wurde zur Ausfällung geschritten, die in einem dunklen Raum bei rotem Licht vorgenommen wurde. Als Fällungsmittel diente eine normale Silberlösung, die mit so viel Salpetersäure versetzt war, daß ihr Gehalt an freier Säure ungefähr einer doppeltnormalen Salpetersäure entsprach. Von dieser Silberlösung wurde zunächst nicht mehr als die theoretisch nötige Menge, wobei Bi = 208 gerechnet wurde, tropfenweise

unter stetem langsamen Umschwenken des Kolbens zugesetzt. Nachdem alles zugeflossen und das Umschwenken noch kurze Zeit fortgesetzt war, wurde noch ein geringer Überschuß von ca. 1 ccm Silberlösung zugegeben, worauf sich das Silberbromid rasch absetzte und die überstehende Flüssigkeit sich völlig klärte. Dann wurde der Kolben bis zum nächsten Tage im Dunkelzimmer stehen gelassen.

Bevor man zur Filtration schritt, wurde ca. 1 Stunde lang ein langsamer gereinigter Luftstrom durch den Apparat gesaugt, der, noch durch mehrere mit Baumwolle angefüllte Röhren filtriert, durch den Tropftrichter in den Apparat gelangte, die in der Péligotröhre befindliche Silberlösung passierte und von da in die Saugpumpe gelangte. Zweck dieses Verfahrens war, den in der Atmosphäre der Flasche über der Flüssigkeit eventuell sich befindenden Bromwasserstoff noch zu absorbieren. Einen einzigen Fall ausgenommen, blieb aber die in der Péligotröhre befindliche Silberlösung vollkommen klar, und auch dies eine Mal zeigte sich nur eine kaum wahrnehmbare Trübung.

Nun wurde der Inhalt der Péligotröhre mit doppeltnormaler Salpetersäure in den Kolben gespült, der Tropftrichter entfernt und ebenso abgespült, und zur Filtration geschritten, die, wie alle Operationen mit dem Silberbromid, im Dunkeln bei rotem Licht vorgenommen wurde. Zur Aufsammlung des Niederschlags diente ein gewogener Neubauertiegel, die ja, was Exaktheit des Filtrierens anlangt, alles andere weit hinter sich lassen. Der Niederschlag wurde im Kolben so lange mit doppeltnormaler Salpetersäure dekantiert, bis sich im ablaufenden Filtrat weder Silber, noch Wismut mehr nachweisen ließen, dann ebenso mit Wasser bis zum Aufhören der sauren Reaktion dekantiert und nun erst vollständig mit Wasser in den Neubauertiegel gespült und abgesaugt. Wenn man nicht so verfährt, sondern den Niederschlag gleich anfangs in den Tiegel bringt, so ballt sich derselbe so fest zusammen, daß es äußerst schwer, wenn nicht unmöglich ist, ihn frei von Salpetersäure zu bekommen, wodurch dann beim Trocknen Zersetzungserscheinungen (Grünwerden) des Silberbromids auftreten, wodurch uns eine Bestimmung verdorben worden war.

Dann wurde der Tiegel samt Inhalt in einem Porzellan-

trockenschrank, der nur den Zwecken der Atomgewichtsbestimmung dient, bei 140 bis 150° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Zur Wägung benützten wir eine von W. Spoerhase gelieferte Wage, deren nähere Beschreibung hier folgen möge.

Die Wage ist derart eingerichtet, daß die Auflegung der Gewichte mittelst Hebel von außen erfolgt, mithin die Wage während der Wägung geschlossen werden kann. Zu diesem Zwecke ist die rechte Schale der Wage durch ein Gehänge ersetzt, in dem für jedes der zylinderförmigen Gewichte eine Auflegestelle vorhanden ist. Die Gewichte werden in schwebender Lage über ihren Auflegestellen durch Hebel festgehalten. Will man nun ein Gewicht auflegen, so dreht man an einem auf der rechten Seite der Wage befindlichen Knopf, der Hebel senkt sich und legt das Gewicht an seinen Platz; auf diese Weise lassen sich alle Gewichte von 100 g bis 0,01 g auflegen.

Außerdem ist die Wage mit zwei Skalen versehen, einer Makroskala, wie die gewöhnlichen Wagen, und einer, an der Zunge der Wage befestigten Mikroskala. Die Ablesungen an der letzten erfolgen durch ein Mikroskop.

Die Wage ist derart justiert, daß pro 10 mg der Zeiger 10° Ausschlag gibt, mithin pro 1 mg 1°. Das Mikroskop teilt jeden dieser Grade wieder in zehn Teile, so daß sich 0,1 mg direkt ablesen lassen und die fünfte Dezimale noch mittelst der Schwingungsmethode genau bestimmt werden kann.

Die Gewichte sind von der kaiserlichen Normaleichungskommission geeicht.

Daß sämtliche Wägungen auf den luftleeren Raum reduziert wurden, ist selbstverständlich.

Resultate. Kritische Beurteilung derselben.

Von jedem Material wurden zwei Bestimmungen ausgeführt.

Die Berechnung erfolgte folgendermaßen:

Löst man die Gleichung: AgBr : Br = g : m nach m auf, so erhält man, wenn g die gefundene Menge Bromsilber ist, dieMenge des in der angewendeten Substanzmenge vorhandenen Broms:

$$m = \frac{Br}{AgBr} \cdot g.$$

Wenn nun a die angewendete Menge Wismutbromid ist, so ist a — m die darin enthaltene Menge Wismut. Man erhält

nun zur Berechnung von Wismut die Gleichung: $m : (a - m) = Br_3 : Bi$. Löst man die Gleichung nach Bi als Unbekannter auf, so erhält man:

$$Bi = \frac{Br_3 \cdot (a - m)}{m}$$

d. h. das Atomgewicht des Wismuts bezogen auf das dreifache Atomgewicht des Broms. Setzt man nun für m seinen Wert:

$$m = \frac{Br}{AgBr} \cdot g,$$

so erhält man die Gleichung:

$$Bi = \frac{Br_3 \cdot \left(a - \frac{Br}{AgBr} \cdot g\right)}{\frac{Br}{AgBr} \cdot g}$$

Setzt man für die Elemente ihre Atomzahlen ein, so erhält man zuletzt die Gleichung:

$$Bi = \frac{239{,}880 \cdot (a - 0{,}42556 \cdot g)}{0{,}42556 \cdot g}$$

wobei $Br = 79{,}960$; $Ag = 107{,}934$ gesetzt wurde.

Die Resultate sämtlicher Bestimmungen sind in folgender Tabelle enthalten:

Sorte		Angewendet Wismutbromid	Erhalten Silberbromid	Atomgewicht O = 16
I.	1.	3,77071	4,74323	208,24
	2.	4,37676	5,50932	207,92
II.	3.	3,64088	4,58160	208,05
	4.	4,57894	5,76183	208,08
III.	5.	4,53204	5,70410	207,89
	6.	2,85054	3,58682	208,10
IV.	7.	4,58310	5,76618	208,14
	8.	6,47910	8,15465	207,99.

Das arithmetische Mittel aus sämtlichen Versuchen repräsentiert den Wert **208,05.**

Die Resultate unserer Arbeit, kurz zusammengefaßt, sind folgende:

1. Die runde Zahl 208,0 ist als der wahrscheinlichste Wert für das Atomgewicht des Wismuts anzunehmen. Sie steht in

Übereinstimmung mit den von Schneider, Marignac, Löwe und Birckenbach erhaltenen Werten. R. Schneider[1]) erhielt bei seiner ersten Arbeit im Mittel von zwei Versuchsreihen den Wert 207,93.

Marignac[2]) erhielt durch Synthese des Sulfates im Mittel den Wert 208,16.

Löwe[3]) erhielt im Mittel von zwei Versuchen 207,85.

Schneider[4]) erhielt bei seinen späteren Arbeiten, die er nach Veröffentlichung der Classenschen Arbeit unternahm, im Mittel von sechs Versuchen 208,05.

L. Birckenbach[5]) führte zwei Versuchsreihen aus:

Die erste, indem er gewogenes Metall, das nach vercshiedenen Methoden gereinigt war (es standen ihm die drei Metallsorten zur Verfügung, die in dieser Arbeit mit I, II und III bezeichnet sind), in Oxyd überführte. Das Mittel von zehn Versuchen ergab hierbei den Wert 208,05.

Die zweite, indem er reines Oxyd unter besonderen Vorsichtsmaßregeln im Ammoniakstrom reduzierte. Es ist zu erwähnen, daß diese Methode beim Wismut noch nicht angewendet worden war. Das Mittel von sechs Versuchen ergab dabei den Wert 208,08.

Da nun diese Werte durch unsere Arbeit vollauf bestätigt werden, so kann kein Zweifel über den wahren Wert des Atomgewichtes des Wismuts mehr herrschen, zumal die Zahl der ernst zu nehmenden Arbeiten, deren Resultate für einen höheren Wert sprechen nur zwei[6]) beträgt, deren Resultate aber unter sich wieder eine solche Differenz aufweisen, daß sie nicht als gegenseitige Bestätigung, sondern eher als Beweis dafür gelten können, daß der höhere Wert des Atomgewichtes des Wismuts sehr unsicher ist.

---

[1]) Schneider, Pogg. Ann. 82, 303. 1851. S. S. 344.

[2]) Marignac, Ann. chim. 294. 1883. S. S. 346.

[3]) Löwe, Ztschr. analyt. Chem. 22, 498. 1883. S. S. 347.

[4]) Schneider, J. pr. Chem. 50, 461. S. S. 349.

[5]) L. Birckenbach, Über das Atomgewicht des Wismuts. Inauguraldissertation, Erlangen 1905.

[6]) 1. Die Classensche mit dem Wert 208,9. 2. Die Baileysche mit dem Wert 208,39.

2. Durch unsere Arbeit wurde festgestellt, daß sich unter den von uns beobachteten Vorsichtsmaßregeln das Wismutbromid völlig rein und vollkommen sicher zur Wägung und Analyse bringen lasse.

Wir hatten von vornherein vermutet, daß das Atomgewicht des Wismuts, nach unserer Methode bestimmt, höher ausfallen würde, als nach der Oxydationsmethode, da wir befürchteten, daß trotz aller Vorsichtsmaßregeln ein Verlust von Bromwasserstoff eintreten würde.

Die ausgezeichnete Übereinstimmung unserer Resultate sowohl unter sich wie mit den Resultaten der vorher genannten Forscher beweist aber, daß diese Befürchtung unbegründet war.

3. Über den Wert unserer Methode gegenüber der Oxydmethode seien uns noch folgende Bemerkungen gestattet.

Daß die Oxydationsmethode vorzüglich ihren Zweck erfüllt, ist unbestreitbar. Denn wo es möglich ist, direkt das Verhältnis des gesuchten Wertes zu $O = 16$ zu bestimmen, wird man diesen Weg wählen, da er vor anderen den Vorzug hat, daß man nicht mehr oder weniger genaue Konstanten anderer Elemente in Rechnung zu ziehen braucht. Andererseits aber beweisen die Arbeiten Schneiders und Classens, daß es nicht leicht ist, das Verhältnis $Bi_2 : O_3$ mit vollkommener Sicherheit zu bestimmen, daß sicher bei der einen der beiden Bestimmungen eine unbekannte, konstante Fehlerquelle das Resultat beeinflußte.

An einem offenkundigen Fehler aber leidet die Oxydationsmethode, an demselben Fehler, der auch die genaue Bestimmung des Verhältnisses $H : O$ so außerordentlich erschwerte: Es ist nämlich das Verhältnis des Atomgewichtes des Wismuts zu dem des Sauerstoffs zu groß. Es verhält sich $Bi_2 : O_3 = 8{,}68 : 1$. Was das für einen Einfluß auf die Bestimmungen ausübt, zeigt folgende Überlegung. Fast sämtliche Bestimmungen nach der Oxydationsmethode wurden in der Weise ausgeführt, daß Metall in Nitrat und dieses durch Erhitzen in Oxyd übergeführt wurde. Wenn nun nur eine Spur von unzersetztem Nitrat oder von okkludierten Gasen im Oxyd vorhanden ist, verneunfacht sich der dadurch gemachte Fehler und wirkt dann schon merklich auf das Resultat ein, selbst wenn der Fehler sehr klein war. Es ist möglich, daß hierin

der Grund für Classens hohen Wert zu suchen ist. Denn bei den von diesem Forscher zur Bestimmung angewendeten großen Mengen sind Fehler der genannten Art leicht möglich. Classen wandte in der besten Absicht so große Mengen an, um die Gewichtsdifferenz von Bi_2O_3 und Bi möglichst genau zu bestimmen. Es ist aber sehr wahrscheinlich, daß ihm dadurch obengenannte Fehlerquelle unentdeckt blieb, da es ja ungeheuer schwer ist, so große Mengen vollkommen homogen zu erhalten. Diesen Übelstand vermeidet unsere Methode. Da das Verhältnis von $Bi : Br_3$ annähernd 1 : 1 ist (genau 1 : 1,15), so kommt ein etwaiger Versuchsfehler nur in seiner wirklichen Größe in Rechnung. Außerdem ist die genaue Bestimmung des Bromgehaltes sehr erleichtert, da der aus dem Wismutbromid erhaltene Silberniederschlag größer an Gewicht ist als das verwendete Wismutbromid, und zwar ist das Verhältnis des Wismutbromids zu dem daraus entstehenden Silberbromid = 1 : 1,2585.

Außerdem hat unsere Methode eine Kontrolle in sich selbst. Da nämlich der Bromgehalt des Wismutbromids größer ist bei kleinem Atomgewicht des Wismuts, so sind die erhaltenen Resultate um so sicherer, da eher ein zu niedriger Gehalt von Brom als ein zu hoher gefunden werden könnte. Daß der hohe Gehalt nicht dadurch bedingt sei, daß Wismut in dem Niederschlag zurückgehalten wurde, wurde nachgewiesen und ist außerdem bei der ausgezeichneten Übereinstimmung der Resultate untereinander sehr unwahrscheinlich, da immer eine der Größe des Niederschlags proportionale Menge von Wismut hätte zurückgehalten werden müssen.

Ein letzter Vorzug unserer Methode ist schließlich noch der, daß das zu analysierende Material völlig frei von fremden Metallen erhalten wird. Diese würden bei der Darstellung des Wismutbromids in dem Schiffchen zurückbleiben, selbst wenn nicht mit reinem Metall gearbeitet würde. Besonders das Blei, der unzertrennliche Begleiter des Wismuts, wird auf diese Weise unschädlich gemacht. Gründet sich doch auf die Leichtflüchtigkeit des Wismutbromids gegenüber dem Bleibromid eine von Jannasch ausgearbeitete quantitative Trennungsmethode!

Zum Schlusse geben wir der Hoffnung Ausdruck, daß nun endlich der langwährende Streit über das Atomgewicht des

Wismuts entschieden werden möge, da wir glauben, durch diese Arbeit ein wohl zu berücksichtigendes Tatsachenmaterial zur Klärung dieser Frage herbeigeschafft zu haben. —

Vorliegende Arbeit wurde im chemischen Laboratorium der Universität Erlangen auf Veranlassung und unter Leitung des Herrn Privatdozenten Dr. A. Gutbier ausgeführt.

Die Resultante binärer Formen.

Von P. Gordan.

Der Zusammenhang der Sylvesterschen und der Cayley-Bezoutschen Determinanten ist längst bekannt. Im folgenden werden auch die Beziehungen der Unterdeterminanten gegeben und die geränderte Bezoutsche Determinante als Polare dargestellt.

§ 1. Die Sylverstersche Determinante.

Die Resultante R der Formen

$$f = a_0 x^n + a_1 x^{n-1} \ldots . a_n$$

$$\varphi = b_0 x^n + b_1 x^{n-1} \ldots . b_n$$

ist die Determinante:

$$R = \begin{vmatrix} a_0 & 0 & \ldots & 0 & b_0 & 0 & \ldots & 0 \\ a_1 & a_0 & \ldots & 0 & b_1 & b_0 & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n-1} & a_{n-2} & \ldots & a_0 & b_{n-1} & b_{n-2} & \ldots & b_0 \\ a_n & a_{n-1} & \ldots & a_1 & b_n & b_{n-1} & \ldots & b_1 \\ 0 & a_n & \ldots & a_2 & 0 & b_n & \ldots & b_2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & \ldots & a_n & 0 & 0 & \ldots & b_n \end{vmatrix}$$

Sie hat 2n Reihen und in den Coefficienten a und b den Grad n.

§ 2. Die Matrices M und N.

Die n ersten und die n letzten Zeilen von R bilden die Matrices:

$$M = \begin{vmatrix} a_0 & 0 & 0 & \dots & 0 & b_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_1 & a_0 & 0 & \dots & 0 & b_1 & b_0 & 0 & \dots & 0 \\ a_2 & a_1 & a_0 & \dots & 0 & b_2 & b_1 & b_0 & \dots & 0 \\ \dots & & & & & & & & & \\ a_{n-1} & a_{n-2} & a_{n-3} & \dots & a_0 & b_{n-1} & b_{n-2} & b_{n-3} & \dots & b_0 \end{vmatrix}$$

$$N = \begin{vmatrix} a_n & a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & a_1 & b_n & b_{n-1} & b_{n-2} & \dots & b_1 \\ 0 & a_n & a_{n-1} & \dots & a_2 & 0 & b_n & b_{n-1} & \dots & b_2 \\ 0 & 0 & a_n & \dots & a_3 & 0 & 0 & b_n & \dots & b_3 \\ \dots & & & & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_n & 0 & 0 & 0 & \dots & b_n \end{vmatrix}$$

$$R = MN$$

ist aus ihnen zusammengesetzt.

§ 3. Die Matrix P.

Wir unterwerfen die Kolonnen von M der Substitution

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & n & n+1 & n+2 & \dots & 2n \\ n & n-1 & \dots & 1 & 2n & 2n-1 & \dots & n+1 \end{pmatrix}$$

und ersetzen die a, b durch — b, a. Hierdurch entsteht die Matrix.

$$P = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & -b_0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -b_0 & -b_1 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_0 & a_1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -b_0 & -b_1 & -b_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_0 & a_1 & a_2 \\ \dots & & & & & & & & & & & & & \\ \dots & & & & & & & & & & & & & \\ -b_0 & -b_1 & -b_2 & \dots & -b_n & a_0 & a_1 & a_2 & \dots & 0_n \end{vmatrix}$$

P und M sind korrespondierende Matrices.

§ 4. Der Proportionalitätsfaktor von P.

Die Determinanten aus den n ersten Kolonnen von M und den n letzten von P haben die Werte

$$a_0^n \text{ und } (-1)^{\varrho} a_0^n$$

ϱ ist hierbei die Anzahl der Derangements der Permutation

$$(n \; n-1 \; \dots \; 1)$$

und hat den Wert

$$1 + 2 \dots n-1 = \frac{n \cdot n-1}{2}$$

Der Proportionalitätsfaktor von P ist $(-1)^{\frac{n \cdot n-1}{2}}$

§ 5. Die Bezoutsche Determinante.

$$P.\,N = \begin{vmatrix} c_{00} & c_{01} & \cdots & c_{0,\,n-1} \\ c_{10} & c_{11} & \cdots & c_{1,\,n-1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ c_{n-1,0} & c_{n-1,1} & \cdots & c_{n-1,n-1} \end{vmatrix}$$

Die Elemente $c_{ik} = c_{ki}$ haben für $i < k$ die Werte

$c_{ik} = a_0 b_{i+k+1} + a_1 b_{i+k} \cdots a_i b_{k+1} - (a_{i+k+1} b_0 + a_{i+k} b_1 \cdots a_{k+1} b_i)$

wo die a_ϱ, b_ϱ, bei denen $\varrho > n$ ist, verschwinden.

Es besteht die Relation

$$R = MN = (-1)^{\frac{n \cdot n-1}{2}} P.\,N.$$

§ 6. Die Matrix T.

Läßt man in R die erste und $(n+1)$. Kolonne und die erste Zeile weg, so entsteht die Matrix

$$\begin{vmatrix} a_0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & b_0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ a_1 & a_0 & 0 & \cdots & 0 & b_1 & b_0 & 0 & \cdots & 0 \\ a_2 & a_1 & a_0 & \cdots & 0 & b_2 & b_1 & b_0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n-2} & a_{n-3} & a_{n-4} & \cdots & a_0 & b_{n-2} & b_{n-3} & b_{n-4} & \cdots & b_0 \\ a_{n-1} & a_{n-2} & a_{n-3} & \cdots & a_1 & b_{n-1} & b_{n-2} & b_{n-3} & \cdots & b_1 \\ a_n & a_{n-1} & a_{n-2} & \cdots & a_2 & b_n & b_{n-1} & b_{n-2} & \cdots & b_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_n & 0 & 0 & 0 & \cdots & b_n \end{vmatrix}$$

Sie hat $2n-2$ Kolonnen und $2n-1$ Zeilen.

§ 7. T_ν.

Wir unterwerfen die Zeilen von T der Substitution

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & \ldots & \nu & \nu+1 & \nu+2 & \cdots & n-1 & n & \cdots & 2n-1 \\ 1 & 2 & \ldots & \nu & n+\nu+1 & n+\nu+2 & \ldots & 2n-1 & \nu+1 & \ldots & \nu+n \end{pmatrix}$$

und erhalten für $\nu \leqq n-1$ die Matrix

$$T_\nu = \begin{vmatrix} a_0 & & & & & b_0 & & & \\ a_1 & a_0 & & & & b_1 & b_0 & & \\ a_2 & a_1 & a_0 & & & b_2 & b_1 & b_0 & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots & \\ a_{\nu-1} & a_{\nu-2} & a_n & \cdots & a_0 & b_{\nu-1} & b_{\nu-2} & \cdots & b_0 \\ & & & & & & & & \\ & & a_n & a_{n-1} & a_{n-2} \cdots a_{\nu+2} & & & b_n & b_{n-1} & b_{n-2} \cdots b_{\nu+2} \\ & & & a_n & a_{n-1} \cdots a_{\nu+3} & & & & b_n & b_{n-1} \cdots b_{\nu+3} \\ & & & & a_n \cdots a_{\nu+4} & & & & & b_n \cdots b_{\nu+4} \\ & & & & \cdots \cdots \cdots & & & & & \cdots \cdots \cdots \\ & & & & a_n & & & & & b_n \\ a_\nu & a_{\nu-1} & \cdots & a_1 & & b_\nu & b_{\nu-1} & \cdots & b_1 & b_0 & & & \\ a_{\nu+1} & a_\nu & \cdots & a_2 & & b_{\nu-1} & b_1 & \cdots & b_2 & b_1 & b_0 & & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \\ a_{n-2} & a_{n-3} & \cdots & a_1 & & b_{n-2} & b_{n-3} & \cdots & b_{n-\nu-1} & b_{n-\nu-2} & b_{n-\nu-3} & \cdots & b_0 \\ & & & & & & & & & & & & \\ a_{n-1} & a_{n-2} & \cdots & a_{n-\nu} & & b_{n-1} & b_{n-2} & \cdots & b_{n-\nu} & b_{n-\nu-1} & b_{n-\nu-3} & \cdots & b_1 \\ a_n & a_{n-1} & \cdots & a_{\nu+1} & & b_n & b_{n-1} & \cdots & b_{n-\nu+1} & b_{n-\nu} & b_{n-\nu-1} & \cdots & b_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ & & & a_n & & & & & b_n & b_{n-1} & b_{n-2} & \cdots & b_{\nu+1} \end{vmatrix}$$

Die n—1 ersten und die n letzten Zeilen von T_ν bilden die Matrices

$$M = \left|\begin{array}{llll|llll|llll|llll}
a_0 & & & & & & & & b_0 & & & & & & & \\
a_1 & a_0 & & & & & & & b_1 & b_0 & & & & & & \\
a_2 & a_1 & a_0 & & & & & & b_2 & b_1 & b_0 & & & & & \\
\cdots & \cdots & \cdots & & & & & & \cdots & \cdots & \cdots & & & & & \\
\cdots & \cdots & \cdots & & & & & & \cdots & \cdots & \cdots & & & & & \\
a_{\nu-1} & a_{\nu-2} & a_{\nu-3} & \cdots a_0 & & & & & b_{\nu-1} & b_{\nu-2} & b_{\nu-3} & \cdots b_0 & & & & \\
\hline
 & & & & a_n & a_{n-1} & a_{n-2} & \cdots a_{\nu+2} & & & & & b_n & b_{n-1} & b_{n-2} & \cdots b_{\nu+2} \\
 & & & & & a_n & a_{n-1} & \cdots a_{\nu+3} & & & & & & b_n & b_{n-1} & \cdots b_{\nu+3} \\
 & & & & & & a_n & \cdots a_{\nu-4} & & & & & & & b_n & \cdots b_{\nu+4} \\
 & & & & & & \cdots & & & & & & & & \cdots & \\
 & & & & & & & a_n & & & & & & & & b_n
\end{array}\right|$$

$$= N = \left|\begin{array}{llll|llll|llll|llll}
a_\nu & a_{\nu-1} & a_{\nu-2} & \cdots a_1 & a_0 & & & & b_\nu & b_{\nu-1} & b_{\nu-2} & \cdots b_1 & b_0 & & & \\
a_{\nu+1} & a_\nu & a_{\nu-1} & \cdots a_2 & a_1 & a_0 & & & b_{\nu+1} & b_{\nu+2} & b_{\nu+1} & \cdots b_2 & b_1 & b_0 & & \\
a_{\nu+2} & a_{\nu+1} & a_\nu & \cdots a_3 & a_2 & a_1 & a_0 & & b_{\nu+2} & b_{\nu+1} & b_\nu & \cdots b_3 & b_2 & b_1 & b_0 & \\
\cdots & \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots & \\
a_{n-2} & a_{n-3} & a_{n-4} & \cdots a_{n-\nu-1} & a_{n-\nu-2} & a_{n-\nu-3} & & \cdots a_0 & b_{n-2} & b_{n-3} & b_{n-4} & \cdots b_{n-\nu-1} & b_{n-\nu-2} & b_{n-\nu-3} & & \cdots b_0 \\
\hline
a_{n-1} & a_{n-2} & a_{n-3} & \cdots a_{n-\nu} & a_{n-\nu-1} & a_{n-\nu-2} & & \cdots a_1 & b_{n-1} & b_{n-2} & b_{n-3} & \cdots b_{n-\nu} & b_{n-\nu-1} & b_{n-\nu-2} & & \cdots b_1 \\
a_n & a_{n-1} & a_{n-2} & \cdots a_{n-\nu+1} & a_{n-\nu} & a_{n-\nu-1} & & \cdots a_2 & b_n & b_{n-1} & b_{n-2} & \cdots b_{n-\nu+1} & b_{n-\nu} & b_{n-\nu-1} & & \cdots b_2 \\
 & a_n & a_{n-1} & \cdots a_{n-\nu-2} & a_{n-\nu+1} & a_{n-\nu} & & \cdots a_3 & & b_n & b_{n-1} & \cdots b_{n-\nu+2} & b_{n-\nu+1} & b_{n-\nu} & & \cdots b_3 \\
\cdots & \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots & \\
 & & & a_n & a_{n-1} & a_{n-2} & & \cdots a_{\nu+1} & & & & b_n & b_{n-1} & b_{n-2} & & \cdots b_{\nu+1}
\end{array}\right|$$

§ 9. Die Matrix P_ν.

Wir unterwerfen die Kolonnen von M_ν der Substitution

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & \ldots\ldots & \nu & \nu+1 & \nu+2 & \ldots & n-1 & n & n+1 & . & n-\nu-2 & n-\nu-1 & \ldots & 2n-2 \\ \nu & \nu-1 & \ldots & 1 & n-1 & n-2 & \ldots & \nu+1 & n-\nu-2 & n-\nu-1 & \ldots & n & 2n-2 & \ldots & n+\nu-1 \end{pmatrix}$$

und ersetzen die Elemente a, b durch —b, a.

Die so entstehende Matrix

$$P_\nu = \left|\begin{array}{ccccc|ccccc|ccccc|ccccc}
 & & & & -b_0 & & & & & & & & & & a_0 & & & & & \\
 & & & -b_0 & -b_1 & & & & & & & & & a_0 & a_1 & & & & & \\
 & & -b_0 & -b_1 & -b_2 & & & & & & & & a_0 & a_1 & a_2 & & & & & \\
 & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & & & & & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & & & & & \\
-b_0 & -b_1 & -b_2 & \ldots & -b_{\nu-1} & & & & & & a_0 & a_1 & a_2 & \ldots & \ldots & a_{\nu-1} & & & & \\
\hline
 & & & & & -b_{\nu+2} & -b_{\nu+3} & \ldots & \ldots & -b_n & & & & & & & a_{\nu+2} & a_{\nu+2} & \ldots & \ldots & a_n \\
 & & & & & -b_{\nu+3} & -b_{\nu+4} & \ldots & -b_n & & & & & & & & a_{\nu+3} & a_{\nu+4} & \ldots & a_n & \\
 & & & & & -b_{\nu-4} & -b_{\nu+5} & -b_n & & & & & & & & & a_{\nu+4} & a_{\nu+5} & . & a_n & \\
 & & & & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & & & & & & & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \\
 & & & & & -b_n & & & & & & & & & & & a_n & & & &
\end{array}\right|$$

ist M korrespondierend.

§ 10. Der Proportionalitätfaktor von P_ν.

Die Determinanten aus den n—1 ersten Kolonnen von M_ν und aus den n—1 letzten von P_ν haben die Werte

$$a_o^\nu \, o_n^{n-\nu-1} \text{ und } (-1)^{\varrho} \, a_o^\nu \, a_n^{n-\nu-1}$$

wo ϱ die Differenz der Anzahl der Derangements der Permutationen bedeutet:

$$(\nu \quad \nu-1 \; \nu-2 \; \ldots \; 1) \quad (n \quad n-1 \quad n-2 \; \ldots \; \nu+2)$$

also die Werte hat.

$$\varrho = 1+2 \ldots n-\nu-2-(1+2 \ldots \nu-1) = \frac{n-\nu-1 \cdot n-\nu-2}{2} - \frac{\nu(\nu-1}{2}$$

$$= (n-2) \, \frac{n-1-2\nu}{2}.$$

Der Proportionalitätsfaktor von P_ν hat den Wert

$$(-1)^{(n-2)\frac{n-1-2\nu}{2}}.$$

§ 11. $P_\nu . N_\nu$.

$$P_\nu . N_\nu = \begin{vmatrix} c_{00} & c_{01} & c_{02} & \ldots & c_{0,n-1} \\ c_{10} & c_{11} & c_{12} & \ldots & c_{1,n-1} \\ c_{20} & c_{21} & c_{22} & \ldots & c_{2,n-1} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \\ c_{\nu-1,0} & c_{\nu-1,1} & c_{\nu-1,2} & \ldots & -c_{\nu-1,n-1} \\ -c_{\nu+1,0} & -c_{\nu+1,1} & -c_{\nu+1,2} & \ldots & -c_{\nu+1,n-1} \\ -c_{\nu+2,0} & -c_{\nu+1,1} & -c_{\nu+2,2} & \ldots & -c_{\nu+2,n-1} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \\ -c_{n-1,0} & -c_{n-1,1} & -c_{n-1,2} & \ldots & -c_{n-1,n-1} \end{vmatrix}$$

ist also die Matrix, welche aus der Bezoutschen Determinante entsteht, wenn man die νte Zeile wegläßt und die Elemente der n—1—ν letzten Zeilen negativ nimmt.

§ 12. Die Matrix $N_{\nu\lambda}$.

Läßt man in N_ν die $(\lambda+1)$ erste Zeile weg, so erhält man die Matrix $N_{\nu\lambda}$ von n—1 Zeilen und 2n—1 Kolonnen. Es besteht die Formel

$$M_\nu \, N_{\nu\lambda} = (-1)^{n-2\frac{n-1-2\nu}{2}} \, P_\nu . N_{\nu\lambda}$$

$P_\nu . N_{\nu\lambda}$ entsteht aus $P_\nu \cdot N_\nu$, wenn man die $(\lambda+1)$ erste Kolonne wegläßt. Bezeichnet man die Unterdeterminanten der Elemente

c_{ik} in $\Sigma - c_{00}\, c_{11} \ldots c_{n-1,n-1}$ mit γ_{ik}, so ist

$$P_\nu \cdot N_{\nu\lambda} = (-1)^{n-1-\lambda}\, \gamma_{\nu\lambda}$$

also:

$$M_\nu\, N_{\nu\lambda} = (-1)^{(n-2)\frac{n-1-2}{2}+n-1-\lambda}\, \gamma_{\nu\lambda}.$$

§ 13. Die Determinante q_λ.

Läßt man in der Matrix T die $(\lambda+\nu+1)$ erste Zeile weg (wo $\lambda < n$ ist), so entsteht eine Determinante q_λ von $2n-2$ Reihen. Wir unterwerfen ihre Zeilen der Substitution

$$\begin{pmatrix} 1 \ldots \nu & n+1 \ldots n-1 & n \ldots \ldots 2n-2 \\ 1 \ldots \nu & n+\nu \ldots 2n-2 & \nu+1 \ldots \ldots n+\nu-1 \end{pmatrix}$$

welche das Vorzeichen $(-1)^{(n-1)(n-\nu-1)}$ hat und erhalten die Determinante $M_\nu \cdot N_{\nu,\lambda}$. Es ist

$$q_\lambda = (-1)^{(n-1)(n-\nu-1)}\, M_\nu \cdot N_{\nu,\lambda}$$

$$= (-1)^{\frac{n-1\cdot n-2}{2}-\nu-\lambda}\, \gamma_{\nu,\lambda}$$

§ 14. Die Unterdeterminante $R^{1,n+1}_{1,\nu+\lambda+2}$

Die zweite Unterdeterminate des Produktes $a_{11}\, a_{n+1,\nu+\lambda+2}$ in R hat die Werte

$$R^{1,n+1}_{1,\nu+\lambda+2} = (-1)^{n+\nu+\gamma-1}\, q_\gamma$$

$$= (-1)^{\frac{n\cdot n-1}{2}}\, \gamma_{\nu\lambda}$$

Der Wert der Unterdeterminante $\gamma_{\nu\lambda}$ hängt nur von der Summe der Indices $\nu+\lambda$ ab.

$$\gamma_{\nu\lambda} = \gamma_{\nu-1,\lambda+1} = \gamma_{\nu+\lambda}.$$

§ 15. Änderung der Bezoutschen Determinante.

Lehrsatz.

Die geänderte Determinante:

$$\begin{vmatrix} c_{00} & c_{01} & c_{02} & \ldots & c_{0,n-1} & x_2^{n-1} \\ c_{10} & c_{11} & c_{12} & \ldots & c_{n-1,1} & -\binom{n-1}{1} x_1 x_2^{n-2} \\ c_{20} & c_{21} & c_{22} & \ldots & c_{2,n-1} & \binom{n-1}{2} x_1^2 x_2^{n-3} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ c_{n-1,0} & c_{n-1,1} & c_{n-1,2} & \ldots & c_{n-1,n-1} & (-1)^{n-1} x_1^{n-1} \\ y_2^{n-1} & -\binom{n-1}{1} y_1 y_2^{n-2} & \binom{n-1}{2} y_1^2 y_2^{n-3} & \ldots & (-1)^{n-1} y_1^{n-1} & 0 \end{vmatrix}$$

ist gleich der (n—1) ersten Polare der Form, welche daraus entsteht, wenn man y=x setzt $F(x, y) = F(x, x)_{y^{n-1}}$.

Beweis.

$$F(x, y) = \sum_{i=0}^{i=n-1} \sum_{k=0}^{k=n-1} (-1)^{i+k} \binom{n-1}{i} \binom{n-1}{k} \gamma_{i+k}\, x_1^{n-1-i}\, x_2^{i}\, y_1^{n-1-k} y_2^{k}$$

$$F(x, x) = \sum_{i=0}^{i=n-1} \sum_{k=0}^{k=n-1} (-1)^{i+k} \binom{n-1}{i} \binom{n-1}{k} \gamma_{i+k}\, x_1^{2n-2-i-k}\, x_2^{i+k}$$

$$= \sum_{\varrho=0}^{\varrho=2n-2} (-1)^{\varrho} \binom{2n-2}{\varrho} \gamma_{\varrho}\, x_1^{2n-2-\varrho} x_2^{\varrho}$$

$$F(x+\lambda y, x+\lambda y) = \sum_{\varrho=0}^{\varrho=2n-2} (-1)^{\varrho} \binom{2n-2}{\varrho} \gamma_{\varrho} (x_1+\lambda y_1)^{2n-2-\varrho} (x_2+\lambda y_2)^{\varrho}$$

$$= \sum_{\varrho=0}^{\varrho=2n-2} \sum_{i+k=\varrho} \sum_{m=0}^{m=2n-2-\varrho} (-1)^{\varrho} \binom{2n-2}{\varrho} \binom{2n-2-\varrho}{m} \binom{\varrho}{i,k} \gamma_{\varrho}\, x_1^{2n-2-\varrho-m} y_1^{m}\, x_2^{i} y_2^{k} \lambda^{m+k}$$

Die Polare $F(x, x)_{y^{n-1}}$ ist der Faktor von $\binom{2n-2}{n-1} \lambda^{n-1}$ in dieser Summe, hat also den Wert:

$$\sum_{\varrho=0}^{\varrho=2n-2} \sum_{i+k=\varrho} \frac{(-1^{\varrho})}{\binom{2n-2}{n-1}} \binom{2n-2}{\varrho} \binom{2n-2-\varrho}{n-1-k} \binom{\varrho}{i,k} \gamma_{i+k}\, x_1^{n-1-\varrho+k} y_1^{n-1-k}\, x_2^{i} y_2^{k}$$

$$F(x_1 x)_{y^{n-1}} = F(x_1 y).$$

Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. IV.

Über Wagen bei den Arabern.

Von Eilhard Wiedemann.

In dem deutschen Museum für Meisterwerke der Wissenschaft und Technik befindet sich eine Wage, die zum Betrügen beim Wägen dient, und zwar dadurch, daß ihr Wagbalken hohl ist und etwas Quecksilber enthält. Sie hat die Form einer gewöhnlichen Handwage mit nach oben gerichteter Zunge [1]). Wagbalken (Länge 20 cm), Schere und Zunge (Länge 9 cm) bestehen aus Eisen, die Schalen aus Messing. Der Wagbalken ist ein hohles, an beiden Enden mit Schraubenbolzen verschlossenes Rohr. Die Tragkraft der Wage ist der Schalengröße (ca. 5 cm Durchmesser) entsprechend 50 bis 100 g, das Gewicht des Quecksilbers 8 bis 8,5 g. Die Wage schlägt um, wenn der Balken nur ganz wenig von der Horizontalen abweicht. Die Verbindungslinie der drei Schneiden liegt in der oberen Kontur des Wagbalkens.

Solche Wagen finden auch schon bei den Arabern Verwendung. Eine Beschreibung ist uns erhalten in einem Werke von *al Ġaubarî* [2]), und zwar im 25. Kapitel (S. 135 des arabischen

[1]) Herrn Dr. Alt, der mir die obigen Mitteilungen gemacht hat, sage ich auch an dieser Stelle den besten Dank.

[2]) Das oben erwähnte Werk heißt in dem Druck von Damaskus Enthüllung der Geheimnisse (*Kitâb al muchtâr fî kaschf al asrâr*) von dem höchst gelehrten Manne *Zain al Din ʿAbd al Raḥîm Ibn ʿOmar* aus Damaskus, der unter dem Namen *al Ġaubarî* bekannt ist. — Es ist von M. Steinschneider (Z. D. M. G. Bd. 19, S. 567. 1865) und vor allem sehr ausführlich von J. de Goeje (Z. D. M. G. Bd. 20, S. 485. 1866) unter ausführlicher Inhaltsangabe besprochen worden. Einige Beiträge hat auch L. Fleischer Z. D. M. G. Bd. 21, S. 274. 1867 geliefert. Handschriften befinden sich z. B.

Druckes von Damaskus), das von der Enthüllung der Geheimnisse der Wechsler und deren Überlistung handelt, es heißt dort:

„Einige von ihnen haben eine Wage (*Mîzân*) mit einem hohlen Wagbalken (*Qaṣaba* = Rohr, wohl weil er rund und rohr-

---

in Leyden und in Berlin (Ahlwardt, Katalog Bd. 5, S. 85 u. folgende). Gedruckt ist das Werk 1885 in Damaskus. Wie oben angegeben lautet der Name im Druck von Damaskus, nach de Goeje heißt unser Verfasser *Ǵamâl al Din 'Abd al Raḥîm Ibn Abî Bakr al Dimaschqî*. Der Verfasser lebte um die Mitte des 13. Jahrh. n. Chr. Was über seine Lebensschicksale bekannt ist, findet sich bei de Goeje.

Das Werk heißt auch *Fî 'Ilm al Ḥijal*. Steinschneider übersetzt „Über die Kunst der Charlatanerie". Man kann es aber auch bezeichnen „Über die Lehre von den Kunstgriffen oder sinnreichen Anordnungen".

Eine Stelle für die Bedeutung von *Ḥila* als Taschenspielerkunststück findet sich in *Grünert* arab. Lesestücke, 2. Heft, S. 8, Z. 13, wo ein Mann einen mitgebrachten Kieselstein ins Wasser wirft und ihn sich dort auflösen läßt, um sich als Prophet zu legitimieren; darauf sagen die Anwesenden: „Dies ist eine *Ḥila*, wir wollen Dir einen von unseren Kieselsteinen geben" u. s. w.

Das Werk ist eine Art Lehrbuch darüber, wie man Betrügereien erkennen kann und wie sie ausgeführt werden, dabei wird auch manches andere besprochen, so eine Kriegsmaschine und Taschenspielerkünste. Dabei ist wirklich Erprobtes und Erfundenes bunt durcheinander gemischt.

Von naturwissenschaftlichem Interesse ist Abschnitt (*Faṣl*) 8: Rezepte, um die Waffen zu verbessern, Abschn. 9 u. 27 über Chemie, Abschn. 10 Fälschung der Wohlgerüche, Abschn. 20 Verfälschung der Eßwaren, Abschn. 23 eigentliche Zauberkunststücke, so Konstruktionen, um zwei verschiedene Getränke aus einer Flasche einzuschütten, Abschn. 24 Färben von Perlen und Edelsteinen. Manche der Vorschriften in diesem Abschnitt entspricht fast ganz den von den alten griechischen Alchemisten mitgeteilten Rezepten und ist sicher nicht von Ǵaubarî nachgeprüft worden (vgl. z. B. hierzu Berthelot, Introduction à la Chimie des Anciens, Paris 1889, S. 272 und La Chimie au moyen âge Bd. 1, S. 223; Bd. 2, S. 171.

Ein weiterer Druck des Werkes von *al Ǵaubarî* (Kairo 1316 d. H., 1898/99 n. Chr., S. 1—76) ist mir von Herrn Prof. Dr. *Schwally* in Gießen, dem ich dafür auch an dieser Stelle meinen besten Dank ausspreche, in liebenswürdigster Weise zur Verfügung gestellt worden. Der Text stimmt, soweit ich verglichen habe, mit demjenigen des Druckes von Damaskus überein, während die Leydener Handschriften sich von beiden schon äußerlich dadurch unterscheiden, daß die einzelnen Abschnitte (*Faṣl*) noch in nummerierte Kapitel (*Bâb*), die freilich meist sehr kurz sind, eingeteilt sind.

In dem Kairoer Druck ist noch ein anderes kleines Werk S. 77—96 enthalten mit dem Titel: Die erlaubte Zauberkunst, über die Zauberspiele und einige der Nutzen ihrer erprobten Kunststücke. Dies Werkchen,

förmig ist, bei den Wagen heißt sonst der Balken (*ʿAmûd* = Säule). In ihm befindet sich Quecksilber. Wollen sie jemanden Gold übergeben (an ihn abliefern), so halten sie die Schale (*Kiffa*), auf der sich das Gold befindet, fest und das Quecksilber rinnt nach

---

das Taschenspielerkunststücke schildert, die im Gegensatz zur eigentlichen Magie erlaubt sind, enthält jedenfalls zum größten Teil moderne Versuche, die einem französischen Original aus der Mitte des vorigen Jahrhunderts entnommen sind, wie das Wort *Mûriât* = muriatique zeigt. Den ganz modernen Charakter beweist, daß vom Phosphor, dem *Nitrât* des Quecksilbers, dem *Mûriât* des Zinns (Chlorzinn) u. s. w. gesprochen wird; ferner kommt der Baum *Diânâ* (Silberbaum) vor, bei ihm heißt es: „das ist der beste Weg, Silber, von dem, was ihm beigemischt ist, zu reinigen, wie dem Kupfer und ähnlichem.

De Goeje bespricht noch a. a. O., S. 507 ein Zauberbüchlein, in dem zahlreiche Kunststücke mit Magneten etc. beschrieben sind. Es rührt von *Muḥammad Ibn Abî Bakr al Zarchûrîa*) *al Miṣrî* her (vgl. Katalog der orient. Handschriften zu Leyden Bd. 3, S. 182).

Bemerkung.

Quecksilber ist auch sonst bei mechanischen Apparaten viel benutzt worden, so beschreibt Alfonso X. von Castilien eine besondere Quecksilberuhr*β*), von der er ausdrücklich bemerkt, daß die Prinzipien schon von Heron gelehrt wurden. Eine Trommel ist in 12 Kammern geteilt, die untereinander durch kleine Öffnungen verbunden sind. Sechs der Kammern sind mit Hg gefüllt. Ein auf die Peripherie der Trommel wirkendes Gewicht würde diese in rasche Rotation versetzen, wenn nicht das Hg Widerstand leistete, das nur langsam aus einer Kammer in die nächste fließen kann.

Mit dieser Quecksilberuhr des Königs Alfons haben die sogenannten Walgeruhren (Zylinderuhren) manche prinzipielle Ähnlichkeiten (vgl. z. B. Buch der Erfindungen, 9. Aufl. (1900), Bd. 6, S. 586). Eine solche Uhr befindet sich im deutschen Museum in München.

Die so mannigfache Verwendung des Quecksilbers erklärt sich aus den großen Mengen desselben, die den Arabern zur Verfügung standen. So hören wir, daß der Chalife *Al Nâṣir* (*ʿAbd al Raḥmân* III, 912—961 n. Chr.) in *Al Zahrâ* (vgl. Aug. Müller, Islam Bd. 2, S. 496 u. flgde.) in der Mitte eines Raumes seines Palastes ein großes mit Quecksilber gefülltes Bassin anbrachte. Auf jeder Seite befanden sich acht Türen, die an Bögen befestigt waren. Wenn *Al Nâṣir* einen der Hofleute im Raum

---

α) Der Name ist verschieden geschrieben.

β) Vgl. hierzu E. Bassermann-Jordan, Die Geschichte der Räderuhr, S. 11, Frankfurt a. M. H. Keller 1905, und Beitrag V.

dieser Seite nach vorne; sie nehmen von dem Gold fort so viel, als dem Gewicht des Quecksilbers entspricht. Soll aber das Gold leichter erscheinen, so halten sie die Schale fest, auf der die Gewichte (*Ṣanǵ*) sich befinden, und das Quecksilber fließt nach der Seite der Gewichte, dann gewinnen sie von dem Golde, so viel als das Quecksilber wiegt."

Ein anderes Mittel, um beim Wägen zu betrügen, sah *Ġaubarî* in Indien; ein dortiger Bankier hielt seine Rechte, an der er einen Ring trug, stets nahe an die Zunge (*Lisân*) der Wage, und zwar beim Einkassieren auf die Seite des Gewichtes, beim Ausbezahlen auf die Seite des Geldes. In dem Ringe steckte ein Magnetstein, (die Zunge der Wage war also aus Eisen), wie *Ġaubarî* richtig aus der Veränderung im Einspielen der Zunge schloß (auch der Araber spricht vom spielen *la'iba* der Zunge).

Daß schon zu *Muḥammads* Zeiten die Wagen verfälscht wurden, zeigen Stellen des *Qurân*, wie Sûre 7, Vers 83 und Sûre 11, Vers 85, wo es heißt: Gebet richtig das Maß (Gefäß) und die Wage und Kürzet nicht das Meßgefäß und die Wage. *Muḥammad* braucht für Wage die beiden Ausdrücke *Mîzân* an den angeführten Stellen und *Qustâs* Sûre 17, V. 37 und Sûre 26, V. 182, wo es heißt: Und wäget mit dem geraden (bezw. rechtschaffenen) (*mustaqîm*) *Qustâs* (vgl. w. u.).

---

erschrecken wollte, so ließ er das Quecksilber durch Sklaven in Bewegung setzen, und der Raum erschien von Blitzen erfüllt. Die große Menge Quecksilber in Spanien gab *Al Nâṣir* die Idee zu dieser Verwendung ein, und die durch dieses Mineral hervorgerufene Wirkung führte vielleicht zu dem Glauben, daß die Halle sich fortwährend im Kreise drehte und dem Lauf der Sonne folgte oder, wie andere angeben, daß sie sich auf dem Reservoir wie auf einer Achse bewegte. (The History of the mohammedan Dynasties in Spain by P. de Gayangos, Bd. I, S. 236. 1840).

Nach einer Angabe bei G. Baist (Habilitationsschrift, Erlangen 1889, S. 46) hätten die Spanier mit dem Wort Asogue (arab. *Zibaq*) außer Quecksilber auch ein Transportschiff für Quecksilber bezeichnet.

Al Maqqarî berichtet (vgl. Lerchundi y Simonet, Crestomatia, S. 18 u. 19) einmal, daß in Nordandalusien (Andalusien ist der arabische Name von Spanien) sich Hg findet, und dann, daß seine Gruben in der Sierra Morena seien, von wo es nach allen Seiten ausgeführt werde. Auch *Qazwînî* Bd. 2, S. 338 führt Quecksilbergruben in Spanien sowie solche von Zinnober auf, welche letztere *Maqqarî* nicht erwähnt.

Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. V[1].

Auszüge aus arabischen Enzyklopädien und Anderes[2].

Von Eilhard Wiedemann.

Bereits früher[3]) habe ich darauf hingewiesen, daß sich in arabischen Enzyklopädien eine Reihe von Artikeln über Mathematik, Physik und andere Naturwissenschaften findet, die uns ein Bild von dem Umfang des Wissens der Araber oder von dem, was sie besonders interessiert hat, geben. Im folgenden sollen einige derselben in der Übersetzung mitgeteilt werden, und zwar zunächst solche aus *al Anṣârî*, denen eventuelle Erweiterungen von *Ḥâǧî Chalfa*[4]) beigefügt sind, ferner aus *Ibn Sînâs* Schrift

---

[1]) Die Inhaltsübersicht findet sich am Ende der Abhandlung.

[2]) Ich möchte nicht unterlassen, auch an dieser Stelle allen den Herren Kollegen, die mich durch Mitteilungen unterstützt haben, bestens zu danken und ganz besonders Herrn Professor Jacob in Erlangen und Herrn Professor Heiberg in Kopenhagen, die beide so freundlich waren eine Korrektur zu lesen.

Zu den früher erwähnten bibliographischen Nachweisen möchte ich noch beifügen *M. Steinschneider*, Die europäischen Übersetzungen aus dem Arabischen bis Mitte des 17. Jahrhunderts. Sitzungsber. d. Wiener Akad. Phil. Hist. Klasse, Bd. 149. 1904 und 151. 1905.

Durch die in den Anmerkungen in den verschiedenen Beiträgen gegebenen sachlichen und literarischen Nachrichten hoffe ich allmählich Material zu einer Geschichte der Naturwissenschaften und Technik bei den Arabern beschaffen zu können und Angaben in bisher nur arabisch publizierten und wenig zugänglichen Schriften allgemeiner bekannt zu machen. Daß in dem mitgeteilten noch manche Lücken vorhanden sind, dessen bin ich mir wohl bewußt.

[3]) Beiträge III, S. 220ff.

[4]) Nach einer Mitteilung von Herrn Dr. Graf C. Landberg heißt der Gelehrte nach einem in seinem Besitz befindlichen Autographen *Chalîfa*.

über die Teile der philosophischen Wissenschaften[1]). Berücksichtigt sind vor allem die Ausführungen über Geometrie, die aber große Teile der Mechanik und Physik umfassen.

1. Übersetzung und Besprechung der Abhandlung (*Qaul* = Rede) über die Geometrie aus *Al Anṣârî's Irschâd al Qâṣid*[2]).

Die betreffende Stelle (S. 79) lautet:

Dies ist eine Wissenschaft, die behandelt die Eigenschaften

---

[1]) Auch von *al Fârâbî* rührt eine solche Enzyklopädie her; vgl. dazu den Titel u. s. w. in Steinschneider, Hebräische Übersetzungen § 159, 4. Die lateinische Übersetzung von Camerarius ist nach gütiger Mitteilung von Herrn Prof. G. Lippmann in Paris in der Bibliothèque nationale vorhanden.

Hierher gehören auch die Schriften des *Ichwân al Ṣafâ* (vgl. Beiträge II, S. 313. Eine Einteilung der Wissenschaften enthält die Philosophie etc. 1. Teil. Leipzig 1879).

Ähnliche enzyklopädische Übersichten sind ferner von Juden verfaßt worden, so von *Ibn Akuin* (im XII. Jahrh.), einem Schüler des *Maimonides*, der z. B. das Werk der *Benû Schakir* (*Benû Mûsà*) erwähnt, und von *Abraham bar Chijja* (Anfang des XII. Jahrh.), der von den Werken vom Gewicht und der Wissenschaft der Last des *Heron* und *Archimedes?* oder *Benû Mûsà*) spricht (vgl. dazu Steinschneider, Z. S. f. Math. Bd. 10, S. 465 u. 466. 1865 und Hebräische Bibliographie (1864), S. 92; diese Enzyklopädie konnte ich nicht benutzen).

Von Hammer-Purgstall (vgl. Beiträge III, S. 221) ist in seiner enzyklopädischen Übersicht der Wissenschaften des Orients S. 21 noch ein persisches Werk von *Muḥammad al Âmulî* (vgl. *Jaqût* Bd. 1, S. 68) ausgezogen worden, das jedenfalls viel Interessantes enthält; ich habe nicht gewagt, Hammers Angaben ohne weiteres zu verwenden.

Wenn die Stellen, die Hammer aus dem *Anṣârî* mitteilt, nicht von ihm mit Zusätzen versehen sind, so hat er einen etwas andern Text als den publizierten benutzt.

[2]) Über die Geometrie als solche findet sich bei Ḥ. Ch. (Bd. 6, S. 504) nur folgende kurze Notiz, die mit der Angabe von *Anṣârî* nicht zusammenhängt. „Die Geometrie ist die Wissenschaft von den Regeln, aus denen man die Zustände (*Aḥwâl*) kennen lernt, welche die Quantität betreffen, solange sie Quantität ist (d. h. wohl unabhängig von dem Material etc.)."

In den *Mafâtiḥ* S. 202 (vgl. Beitr. III, S. 221) wird die Geometrie eingeteilt in 4 Abschnitte: 1. Einleitende Bemerkungen, 2. über die Linien, 3. über die Flächen, 4. über die Körper. Das betreffende Kapitel denke ich ebenso wie dasjenige (*Fi'l Ḥijal*), in dem das Ziehen der Lasten (die Mechanik), die sich bewegenden und die pneumatischen Instrumente be-

der Größen (Dimensionen *Maqâdîr*[1]) und was damit zusammenhängt, ferner die (relativen) Lagen einer von ihnen bei der andern und ihre Beziehungen und die Eigentümlichkeiten ihrer Figuren und die Wege zur Anwendung dessen, was nun einmal bei ihnen angewandt wird, und die Ableitung dessen, das man braucht, um es mit sichern Beweisen abzuleiten. Ihr Gegenstand sind die absoluten (*muṭlaq*) Größen, nämlich der geometrische Körper, die Fläche und die Linie und was damit zusammenhängt, nämlich der Winkel, der Punkt und die Figur.

Ihre Grundteile (nämlich der Wissenschaft) sind zehn. Der erste Teil behandelt die Eigenschaften der geraden Linien, nämlich die Art, wie sie zusammenkommen und sich entfernen, und ihre Lagen. Der zweite Teil behandelt die Eigenschaften der Kreise und Bögen, die in Ebenen[a]) liegen, und ihre Sehnen und Tangenten. Der dritte Teil behandelt die Eigenschaften der gekrümmten (*al munḥanîja*) Linien, die Hyperbel, Ellipse und Parabel heißen, sowie ihre Eigentümlichkeiten und ihre Beziehungen zu der Geraden und dem Kreis und den Figuren, die aus ihnen entstehen. Der vierte Teil behandelt die Eigenschaft der geradlinigen Figuren, ihre Umschreibung durch Kreise und die Umschreibung der Kreise durch sie. Der fünfte Teil[2]) behandelt die gesamten Ableitungen, nämlich die zusammenfassende (*al iǵmâlîja*) und die detaillierende (*al tafṣîlîja*). Im sechsten Teil werden Beweise für die numerischen Eigentümlichkeiten beigebracht. Der siebente Teil

---

handelt sind, zu veröffentlichen. — Das Kapitel über Astronomie enthält die folgenden Abschnitte: 1. Über die Namen der Planeten und der Fixsterne und deren Bilder. 2. Über die Anordnung der Sphären (*Falak*) und die Sterne auf ihnen und die Beschaffenheit der Erde und der Klimate. 3. Über die Prinzipien der Vorhersagungen aus den Sternen und die Festsetzungen ihrer Vertreter. 4. Über die astronomischen Instrumente.

[1]) In den *Mafâtîḥ al-ʿUlûm* S. 203 heißt es: Die *Maqâdîr* sind das Wesentliche der Dimensionen (*el Abʿâd*), *al Abʿâd* sind die Länge, die Breite und Tiefe (*ʿUmq*). (Man sagt Tiefe oder Höhe (*Samk*), der Unterschied zwischen ihnen ist der, daß Höhe sich auf die Erhöhungen der Körper, Tiefe auf deren Vertiefungen bezieht.

[2]) Kann nur die geometrische Algebra sein (Eukl. Elem. II und VI), s. Zeuthen, Die Lehre von den Kegelschnitten, Kap. I. An Eukl. περὶ διαιρέσεων (Stud. üb. Eukl., S. 13ff.) ist wohl nicht zu denken. (Heiberg.)

[a]) *Asṭiḥa* ist eine in den Lexicis fehlende Pluralform von *Saṭḥ*; vgl. Caspari, Grammatik, 5. Aufl., S. 144, Nr. 5c.

behandelt die Eigenschaft der Figuren, die durch auf der Kugel liegende Kreise entstehen. Der achte Teil behandelt die Eigenschaften der Körper mit ebenen Flächen. Der neunte Teil behandelt die Eigenschaften der Kugel, die Zylinder und der aus Kegelschnitten entstehenden Körper. Der zehnte Teil behandelt die Eigenschaft der sich bewegenden Kugel und ihre Eigentümlichkeiten.

Bis jetzt habe ich kein Werk gesehen, das diese zehn Teile umfaßt, wenn aber das Werk *al Istikmâl* (die Vervollkommnung) von *al Mutamin Ibn Hûd*[1]), Gott sei ihm gnädig[2]), vollendet wäre, würde es alle anderen vollkommen ersetzen und von ihnen unabhängig machen.

Das Buch der Elemente (*Isṭuqisât*)[3]) von *Euklid* enthält das Wichtige des ersten, zweiten, vierten, sechsten und achten Teiles[4]). Den vierten Teil behandelt für sich das Buch über die Kegelschnitte von *Apollonius*[5]), den siebenten Teil behandelt für sich das Buch über die Figuren auf der Kugel (*al Aschkâl al kurrawîja*) von *Menelaus*[6]) (*Manâlâwus*). Der neunte Teil wird behandelt in den Elementen und einiges von ihm in dem Werk über die Kugel und den Zylinder von *Archimedes*[7]). Über den zehnten Teil handelt das Werk über die sich bewegende Kugel (die Kugel in Bewegung) von *Autolykus*[8]).

Der Nutzen beim Erfassen der Wissenschaft vermöge dieser Axiome besteht darin, daß der Geist Schärfe und Durchdringungsvermögen gewinnt, und in der Schulung des Verstandes.

---

[1]) *Jûsuf al Mutamin Ibn Hûd* war König von Zaragoza (1081 bis 1085); vgl. Suter (Mathematiker, S. 108, Nr. 249) und Steinschneider (Z. S. f. Mathem. u. Phys., Bd. 10, S. 465. 1865).

[2]) Diese Eulogie wird nur auf Verstorbene angewendet, auch das irreale „*lau*" des Textes weist darauf hin, daß das Werk nicht zum Abschluß gekommen ist.

[3]) Das Griechische στοιχεῖα. Die obige Vokalisierung hat Freytag. In den *Mafâtiḥ* steht *Usṭuqussât* (S. 202 u. 137), der Singular ist *Usṭuquss*.

[4]) Die Anordnung entspricht derjenigen in den Elementen I = Elem. I (II?), 2 = III, 4 = IV, 6 = VII—IX, 8 = XI—XIII.

[5]) Steinschneider, Math. § 102.

[6]) Steinschneider, Math. § 111.

[7]) Steinschneider, Math. § 95.

[8]) Steinschneider, Math. § 125.

Aus ihr [der Wissenschaft] zieht man Nutzen[1]), wenn man Pläne für das Erbauen der Burgen, Wohnungen, Gewölbe, Brücken und ähnlichem entwirft, und bei der Art des Verteilens von Flüssen in Kanäle und bei der Anlage von Kanälen und bei dem Herausholen des Wassers und der Übertragung desselben aus den Niederungen auf höher gelegene Terrains[2]). Aus ihr lernt man das Vermessen der Größen[a]) und den Gebrauch der Maße (Hohlmaße) und der Wagen[3]). Es werden behandelt die Unterschiede in den Erscheinungen der Dinge und dem, was man von ihnen weiß[4]), die Konstruktion der Brennspiegel, der astronomischen (*Falakîja*), Kriegs-[5]) und pneumatischen Instrumente und durch sie [diese Wissenschaft] wird man in den Stand gesetzt, große Lasten durch eine kleine Kraft zu ziehen und zu heben, wie sich dies deutlich ergibt aus einer Zerlegung jener [Wissenschaft], nämlich in die abgeleiteten Wissenschaften, die unter ihr stehen, und durch ihr Verhältnis zu der Astronomie und zu der Musik.

An von ihr [der Geometrie] abgeleiteten Wissenschaften gibt es zehn: die Wissenschaft vom Konstruieren der Gebäude, die Optik, (*Manâẓir*) die Wissenschaft von den Brennspiegeln, den Schwerpunkten, vom Vermessen, vom Heraufbringen der Gewässer, vom Ziehen der Lasten, von den Uhren, von den Kriegswerkzeugen und von den pneumatischen Apparaten[6]).

---

[a]) Für das seltsame *Miqdarât* (so!) steht weiter unten das gewöhnliche *Maqâdîr*.

[1]) Ganz ähnlich äußern sich die *Ichwân al Ṣafâ* (F. Dieterici, Propädeutik, S. 32). Die Wissenschaft der Geometrie dringt in alle Werke, und besonders gilt das von der Meßkunst. Sie ist eine Kunst, deren sich die Arbeiter, Schreiber, Handwerker und Gutsbesitzer bei ihren Geschäften bedienen, sei es um die Steuern einzunehmen, Kanäle zu graben, Posten einzurichten und dergleichen mehr" und ähnlich a. a. O., S. 44.

[2]) Die Nivellierungen etc. werden in einem späteren Beitrag behandelt werden.

[3]) Über die Wagen ist in Beitrag IV und in VI gehandelt.

[4]) Man muß statt *'Âlimahâ* wohl lesen *'Ilmahâ*, es würde sich, wie auch aus späterem hervorgeht, um optische Täuschungen handeln.

[5]) Statt *ǵarmîja* (körperlich) ist wohl zu lesen *ḥarbîja* (Kriegs), wie aus dem späteren hervorgeht.

[6]) Hieran schließt sich nun eine schematische Übersicht der Wissenschaften. Als erstes Prinzip für die Trennung gilt der Satz: Die Auffindung dessen, was bewiesen werden soll, wird gesucht entweder in den

Die Wissenschaft von dem Konstruieren (*ʿUqûd*) der Bauten[1]) (Architektur) behandelt einmal die Anlage von

---

actu (*bi-l-Fiʿl*) universellen Prinzipien (*al Uṣûl al kullija*) oder nicht. Zu der zweiten Gruppe gehört Architektur, Optik inkl. Brennspiegel. Bei der zweiten Gruppe unterscheidet man dann wieder, ob man quantitative Bestimmungen hat oder nicht, ob Apparate nötig sind oder nicht u. s. w. Die Einteilung geschieht also mehr nach formalen als sachlichen Gesichtspunkten.

[1]) Bei Ḥ. Ch. findet sich keine Ausführung über diese Wissenschaft, die von ihm Bd. 1, S. 35 und Bd. 4, S. 236 erwähnt ist.

Sehr ausführliche Ausführungen sind in *Ibn Chaldûn Proleg.* Bd. 2, S. 369 und 376 enthalten.

Hammer-Purgstall gibt (S. 330) an, das beste architektonische Werk ist: Das Werk der Bauten und der Gewölbe (*Kitâb al Abnijâ wa al ʿUqûd*) von *Ibn ʿAli al Haiṭam*, vgl. S. 398, Anm. 3) und das Werk der Wage der Erde (*Kitâb Mizân al Arḍi*, Setzwage) von *al Karchî*.

Dafür, daß in den praktischen Künsten gründliche mathematische Kenntnisse für nötig gehalten wurden, zeigt das Beispiel von *Abû al Faḍl Ibn ʿAbd al Karim al Muhandis* (der Geometer, Ingenieur), † 1202/03 (*Ibn Abî Usaibiʿa* Bd. 2, S. 190 und Suter, Math. 129). Es heißt von ihm etwa: Er war anfänglich ein Zimmermann (Tischler) und Steinmetz, dessen Arbeiten gesucht waren, er hatte die meisten Türen an dem großen Hospital von Damaskus, das *al Malik al ʿÂdil* gebaut hatte, angefertigt. Sein Freund *Schems al Din Ibn al Miṭwâʿ*, der Augenarzt, erzählt, daß seine erste wissenschaftliche Beschäftigung in dem Bestreben bestand, sich in dem Euklid zu unterrichten, um die Trefflichkeit in der Zimmermannskunst zu vermehren. (Bei der Konstruktion der Linienornamente war eine gründliche geometrische Durchbildung nötig; vgl. E. W., Naturwissenschaft bei den Arabern. Hamburg 1890, S. 15.)

Andererseits wird von einem hervorragenden Arzt und Mathematiker *Emîn al Din Abû Zakarijâ Jaḥjà Ibn Ismâʿîl al Andalusi al Bajâsi* (aus Baeza) erzählt, daß er in der Tischlerei geschickt war und für einen gewissen *Ibn al Naqqâsch al Baġdâdî* zur Geometrie gehörende Instrumente konstruiert habe (vgl. Suter, Math. S. 127); auch eine Orgel hat er konstruiert (*Ibn Abi Uṣ.* Bd. 2, S. 163).

Dieser *Ibn al Naqqâsch* ist es, der die Uhr, die der Vater von *al Riḍwan* konstruiert hatte, und die nach seinem Tode in Unordnung gekommen war, nicht wieder in Ordnung bringen konnte.

Daß Architektur und Geometrie bei den Arabern sehr eng zusammenhängen, zeigt schon, daß dasselbe Wort *Muhandis* den Geometer und den Baumeister bezw. Ingenieur bedeutet; so läßt bei der Errichtung von Bagdad durch *Manṣûr* der *Chalife „Muhandis“* und Leute, die das Bauen verstanden, kommen. (*al Jaʿqûbî* S. 238, Z. 5.) Später, S. 241, werden als Männer, die die Stadt errichteten (*handasa*) solche aufgeführt, die gleichzeitig Astronomen

Plänen der Bauten, ferner die Art und Weise, wie man aus Flüssen (*Nahr*)[1]) Kanäle ableitet (*schaqqa*), Kanäle (*Qanât*) baut[a]) und Dämme gegen den Wasserdurchbruch[2]) errichtet. Sie ist von sehr großem Nutzen bei der Anlage der Städte, der Festungen und dem Ackerbau. Über sie gibt es ein Werk von (*Ibn al Haiṭam*)[3]) und eins von (*al Karchî*)[4]).

---

oder Mathematiker waren, so *al Ṭabarî* (vgl. Suter, Math. S. 7), *al Fazârî* (S. 4) und andere (vgl. dazu Suter, Math. S. 3).

Ibn al Ġijab (im 6. Jahrh. d. H.) gab in seinem Werke (Registrierung der Ausmessung der Flächen) geometrische, architektonische Vorschriften (vgl. Suter, Math. S. 122); ferner beschäftigte sich *Muḥ. Ibn ʿAbd al Raḥmân Ibn al Kâtib* in Granada († ca. 1210) unter anderem mit Arithmetik und Geometrie und ließ als Aedile von Granada zahlreiche Bauten, so eine Brücke über den Xenil errichten (vgl. Suter, Math. S. 133).

a) Lies *taqnija* statt „*tanqija*".

[1]) *Nahr* ist nach de Goeje (Bibliotheca Bd. 4, S. 368) sehr oft ein Kanal, der größer ist als die *Sâqija*, die selbst wieder größer ist als der *Ġadwal*. Das Wort wird auch für eine Metallröhre (aber eine sehr weite) benutzt. Die Beschreibung einer solchen Wasserleitung in *Buḫâra* findet sich bei *Iṣṭaḫrî* S. 316, Z. 12 und fast ebenso bei *Ibn Ḥauqal* 366. Es heißt von *Buḫârâ*: Und fließendes Wasser tritt in die Stadt in einem Kanal (*Nahr*) aus Blei. Für den Kanal ist ein hoher Damm aus Steinen gebaut . . . , und die Seiten dieses Kanals sind ganz aus Blei. Später wird über die Wasserleitungen u. s. w. eingehend gehandelt werden.

[2]) Schutzdämme und Stauvorrichtungen sind vielfach beschrieben. Einige Ausdrücke für dieselben finden sich in den *Mafâtiḥ* (S. 68) bei der Behandlung der Wasserämter. Den großen Steindamm in Südarabien bei *Mârib* bespricht E. Glaser (Mitteil. der vorderasiat. Gesellsch. 1897, Nr. 6). Eine große Wassersperre, die sich bei *Aḥwâz* befand, ist z. B. bei *Muqaddasî* (S. 411) beschrieben. Sie heißt *Schâḏurwân*; ein Ausdruck, der nach den *Mafâtiḥ*, S. 70 für die Fundamente benutzt wird, die die Brücken und ihre Umgebungen sichern. Einen Staudamm bei *Aswân* plante bekanntlich *Ibn al Haiṭam*.

[3]) *Ibn al Haiṭam* erwähnt selbst unter seinen Werken (*Ibn Abi Uṣaibia* Bd. 2, S. 94) „Abhandlung über die gute Ausführung des Grabens und Bauens; ich habe in diesem Werk alle Arten des Grabens und Bauens mit allen Figuren der Geometrie zusammengefügt, bis ich zu den drei Kegelschnitten gekommen bin, der Parabel, der Hyperbel und der Ellipse". Es ist sehr zu beklagen, daß uns dies Werk nicht erhalten ist, da es uns sicher wichtige Aufschlüsse gegeben hätte.

Es sei gestattet, hier eine Bemerkung über die Herstellung von Zirkeln zur Konstruktion von Kegelschnitten beizufügen, und zwar im Anschluß an F. Wöpkes Schrift, Le compas parfait (Notices et Extraits Bd. 22, S. 23 und 123. 1874).

Die Wissenschaft von der Optik[1]) behandelt die Zustände der gesehenen Gegenstände nach Menge und Beschaffen-

Die drei bei Wöpke erwähnten Zirkel rühren her von *Wîǰan Ibn Rustem Abû Sahl al Kûhî* (ca. 988), *Kamâl al Dîn Ibn Jûnis* (1156—1242), *Muḥammad al Ḥusain Ibn Muḥammad Ibn al Ḥusain* (etwa gleichzeitig mit *Kamâl al Dîn*). Nach *Ḥusain Ibn Muḥammad* hatten schon die Alten einen Zirkel zur Konstruktion der Kegelschnitte hergestellt; eine Nachricht darüber war aber nicht zu den Arabern gelangt, wie man ihn herstellen und benutzen solle, bei *Abû'l Raiḥân* habe er dann (in dem unten zitierten Werk) ein Werk von *al Kûhî* über diesen Gegenstand zitiert gefunden, es selbst aber nicht erhalten u. s. f.

Daß die Alten solche Zirkel kannten, geht aus folgender Stelle hervor (Eutocius Comm. in lib. II de sphaera et cyl. in Archimedis opera omnia Bd. III, S. 98/99): Es wird aber die Parabel mit dem Instrument Diabetes (das nach J. Regiomontanus einem griechischen λ gleicht) konstruiert. Dasselbe hat unser Lehrer, der Mechaniker *Isidorus* aus Milet erfunden und in seinem Kommentar beschrieben, den er zu Herons Kamarika (d. h. über die Konstruktion von Gewölben) verfaßte. (Isidorus von Milet war mit Anthemius von Tralles der Erbauer der Sophienkirche in Konstantinopel 537 n. Chr.).

Über die Konstruktion von Bauten (stéréotomie) und ihren Zusammenhang mit der Konstruktion von Kegelschnitten unter Hinweis auf Herons καμαρικά hat gehandelt Prou (Notices et extraits Bd. 26, p. 11, 18).

Erwähnt sei, daß *Al Bêrûnî* (973—1048) in seinem Werke „das Werk der gründlichen Behandlung (*Kitâb al Istî'âb*) aller möglichen Methoden für die Konstruktion des Astrolabs" Verfahren zur Konstruktion von Ellipse, Hyperbel und Parabel mittelst des Astrolâb angegeben hat. Ferner bespricht er die Methode von *Abû Naṣr Manṣûr Ibn 'Alî Ibn Irâq* (Ende des 10. Jahrhunderts. Suter, Math. S. 81) die in dem Werk angegeben ist, um mit dem vollkommenen Zirkel (*al Birkâr al tâmm*) die drei Kegelschnitte zu zeichnen, nachdem er vorher dessen Konstruktion und Bewegung behandelt hat. (Ahlwardt Katalog Bd. V, S. 231). In der Inhaltsübersicht wird aber *Kûhî* nicht erwähnt.

Mathematische Instrumente, die teils von ihm erprobt, teils erfunden waren, verbesserte *Muḥammad Ibn Ibrâhîm Ibn Aḥmad Ibn al Rakam* († 715/1315) (Suter, Math. S. 159).

[4]) Zu S. 398. Vgl. zu *al Karchî* Suter, Math. S. 84. — Die Arithmetik von *al Karchî* ist von A. Hochheim übersetzt. Halle 1878—80.

[1]) Ist bei H. Ch. nur in der Übersicht erwähnt.

Sehr ausführlich behandelt die Enzyklopädie von *Abraham bar Chijja* die Optik (vgl. M. Steinschneider in Hebräische Bibliographie Bd. 7, S. 84 u. flgde. 1864. Herr Prof. *Steinschneider* hat mir außerdem in liebenswürdigster Weise einige Mitteilungen persönlich zukommen lassen). Der Verfasser bemerkt, daß es zwei Anschauungen darüber gibt, wie die Gegenstände gesehen werden, entweder geht der Strahl vom Auge aus,

heit mit Rücksicht auf ihre Nähe und Entfernung von dem Beschauer, ferner behandelt sie, was zwischen dem Beschauer und dem Angeschauten liegt und die Ursachen hiervon. Ihr Nutzen besteht darin, daß man durch sie das kennen lernt, wodurch der Blick über die Zustände der angeschauten Gegenstände in die Irre geleitet wird, und daß man sie zu Hilfe nimmt, wenn man entfernte Gegenstände ausmessen will und endlich in der Kenntnis der Brennspiegel.

Zu den Kompendien über diesen Gegenstand gehört das Werk des *Euklid*, zu den mittelausführlichen das Werk von *ʿAlî Ibn ʿÎsà al Vezîr*[1]) und zu den ausführlichen das Werk von *Ibn al Haiṭam*[2]).

---

oder das Weltlicht trägt die Form des Dinges und bringt sie dem Auge nahe. Man teilt die Wissenschaft weiter ein in die Wissenschaft des geraden Sehens und die Wissenschaft des gekrümmten Sehens.

In der Wissenschaft des geraden Sehens dürfte wohl das behandelt werden, was in der Optik des *Euklid* enthalten ist, also vor allem die Größe, in der Gegenstände unter verschiedenen Umständen erscheinen; unter gekrümmtem Sehen sind vor allem die Erscheinungen bei der Reflexion und vielleicht bei der Brechung erstanden.

[1]) So heißt ein *Vezîr* des Chalifen *al Muqtadir* (908—932), von ihm sind aber keine mathematischen Werke angeführt. (Suter, Math. S. 42.)

[2]) Gemeint ist die große bekannte Optik von *Ibn al Haiṭam*.

Merkwürdig ist, daß die Optik des *Ptolemäus* fehlt, die wir lateinisch nach dem Arabischen besitzen (s. unten). Der *Fihrist* und *al Qifṭi* erwähnen sie auch nicht, dagegen hat *Ibn al Haiṭam* sie bekanntlich in dem oben erwähnten Werk vielfach benutzt.

Im folgenden seien einige der den Arabern aus dem Altertum überkommenen bezw. von ihnen zitierten Schriften sowie eine Reihe der von ihnen verfaßten aufgeführt.

Euklid, Optik (Steinschneider, Math. § 92). Die Bearbeitung von *Naṣîr al Dîn* werde ich demnächst besprechen; in der Einleitung werden ähnliche Bemerkungen über die beiden Anschauungen über das Sehen gemacht wie die in Anm. 1 angeführten.

Ptolemäus, Optik (Steinschneider, Math. § 122). Diese ist unter dem Titel L'ottica die Claudio Tolomeo etc. von G. Govi. Torino 1885 nach der lateinischen Übersetzung des arabischen Textes italienisch publiziert. Bei Govi finden sich auch die älteren Bearbeiter erwähnt.

Diese Schrift muß noch spät im Orient geschätzt worden sein, denn *Gio. Battista Donato* erwähnt in seiner Schrift Della letteratura de' Turchi (Venedig 1688) die fünf Bücher der Optik des Ptolemäus.

Diokles, Über Brennspiegel (s. d. nächsten Abschnitt und Steinschneider, Math. § 122$_3$).

Von *al Kindî* rührt eine noch in lateinischer Übersetzung vorhandene Optik (de aspectibus) her, (vgl. Björnbo, Bibl. math. [3] Bd. 3, S. 330. 1903). Andere Schriften *al Kindîs* über Strahlenwerfung etc. dürften astrologischen Inhalt haben.

Von *al Kindî* erwähnt der *Fihrist* zwei optische Werke (S. 257 u. 258): Über den Unterschied in den betrachteten Gegenständen (bedeutet manchmal Parallaxen) und über den Unterschied in den betrachteten Gegenständen im Spiegel (vielleicht sind beide Werke identisch, vgl. Suter Übers. S. 13).

Unter dem Namen von *al Farâbî* befindet sich eine Prospettiva im Vatikan in hebräischer Übersetzung; die mitgeteilte Einleitung ist philosophisch (M. Steinschneider, Mém. St. Petersb. [7] 13, Nr. 4, S. 73. 1869).

Oft wird zitiert eine Schrift „*Tidei*" über optische Gegenstände; sie ist z. B. von *R. Baco* viel benutzt worden (vgl. dazu eine demnächst erscheinende Dissertation von Vogl).

Ibn al Haiṭam. Seine zahlreichen optischen Schriften sind aufgeführt und zum Teil besprochen bei E. Wiedemann, Wied. Ann. Bd. 39, S. 114 u. 115. 1890.

Aristoteles, Werk über den Spiegel übersetzt von *Ḥaǵǵâǵ Ibn Maṭar* (H. Ch. Bd. 5, S. 149, Steinschneider, Philos. § 67, S. 86).

Hippokrates, Werk über die Farben (H. Ch. Bd. 5, S. 50).

Makḫûl Ibn al Mufaḍḍal al Nasafî († 318/930), Werk über die Strahlen (H. Ch. Bd. 5, S. 104).

Ibrâhîm Ibn Sinân Ibn Ṯâbit al Ǵurǵânî (ca. 330/941), Werk über den Schatten (H. Ch. Bd. 5, S. 113).

Tâǵ al Dîn ʿAlî Ibn Muḥammad Ibn Duraihim al Mauṣilî († 762/1360), Nachricht des Betrachtenden über die Spiegel und die Optik (Aspekte *Manâẓir*) (H. Ch. Bd. 6, S. 293).

Naṣîr al Dîn al Ṭusî († 672/1274), Dissertation über die Strahlenreflexion und — ablenkung (nicht Brechung) (Berlin, Katalog Bd. 5, S. 355. Nr. 6020).

Manches Interessante, besonders über den Einfluß der Luft auf gesehene Gegenstände, enthält eine Abhandlung des Arztes *Hibat Allah Ibn Malkâ al Jehûdî* aus *Baġdâd* (ca. 550/1155) darüber, warum die Sterne bei Nacht erscheinen und bei Tag verschwinden (Berlin, Katalog Bd. 5, S. 157, Nr. 5671).

Ein späteres ausführliches Werk von *Taqî al Dîn* (1525/26—1585) ist *Kitâb Nûr Ḥadîqat al Abṣâr wa Nûr Ḥadîqat al Anẓâr*, das Buch des Lichtes der Gärten der Augen und der Blicke (Oxford I, 930). Es behandelt in drei Teilen den direkten, den reflektierten und den gebrochenen Strahl. In einer Einleitung wird die Sonne, das Gehirn und das Auge beschrieben.

Von *J. Hirschberg*, *J. Lippert* u. a. sind eine Reihe von Werken arabischer Augenärzte herausgegeben worden, die zum Teil auch Physikalisches enthalten, nämlich einmal die Augenheilkunde des *Ibn Sinâ* (Leipzig 1902), dann *ʿAlî Ibn ʿÎsâ*, Erinnerungsbuch für Ärzte (Leipzig 1904). Ferner von

ihnen und *E. Mittwoch* in einem Band folgende Schriften: *'Ammâr Ibn 'Alî al Mauṣilî*, Das Buch der Auswahl von den Augenkrankheiten. *Chalîfa al Ḥalabî*, Das Buch vom Genügenden in der Augenheilkunde. *Ṣalâḥ al Dîn*, Das Licht der Augen. (Leipzig 1905.) Für den Physiker sind besonders einzelne Teile des letzten Werkes wichtig.

Eine zusammenfassende Darstellung über die arabischer Augenheilkunde gibt J. Hirschberg in „Die arabischen Lehrbücher der Augenheilkunde" unter Mitwirkung von J. Lippert und E. Mittwoch. Anhang zu den Abhandlungen der Kgl. Akad. der Wissensch. Berlin 1905.

Eine Besprechung der Übersetzungen arabischer optischer Werke ins Lateinische u. s. w. wird die Dissertation von *S. Vogl* bringen.

Die Wissenschaft von den Brennspiegeln[a])[1]) behandelt das Verhalten der gebrochenen[2]) Strahlenlinien, sowie den Ort, wo sie auftreffen, ihre Winkel und die Orte, zu denen sie zurückgeworfen werden. Ferner lehrt sie, wie man die Spiegel herstellt, die durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an ihnen Feuer entzünden, und ihre Aufstellung und ihre Gegenüberstellung. Ihr Nutzen ist bei der Belagerung der Städte und Burgen bedeutend*. Die Alten[3]) stellten die Spiegel aus ebenen Flächen her. Einige machten sie konkav (*muqa''ar*), bis *Diûklis*[b]) (Diokles[4])) bekannt machte und bewies, daß wenn

---

[a]) Statt *muḥrifa* lies *muḥriqa*.

[b]) Statt *Diûflis* lies *Diûklis*.

[1]) Vgl. hierzu H. Ch. Bd. 5, S. 490. Seine Ausführungen gehen bis*. Zu Brennspiegeln vgl. E. Wiedemann, Wied. Ann. 39, S. 110. 1890.

[2]) Für gebrochen bezw. abgelenkt sind drei Ausdrücke benutzt *mun'aṭifa*, *mun'akisa* und *munkasira*; *mun'akisa* ist unser reflektiert im gewöhnlichen Sinn und wird stets so benutzt, *mun'atifa* wird meist für die gebrochenen Strahlen verwendet, hier dient es bei wie bei *Naṣîr al Dîn al Ṭusî* in einer Abhandlung über die Lage des Bildes im Spiegel zur Bezeichnung der nach rückwärts verlängerten reflektierten Strahlen, die spezielle Bedeutung von *munkasira* ist mir noch unbekannt.

[3]) Hierunter ist *Anthemius* verstanden; s. Heiberg, Quaestiones Archimedeae S. 40.

[4]) Wöpcke führt in seinem Werk L'algèbre d'*Omar al Chajjâmî* S. XIII einen *Diûqlîs* auf. Bei Steinschneider (Z. D. M. G. 50, § 110[2]) ist angegeben, daß ein Stück aus einem Werk von Diokles *περὶ πυρείων* genommen ist, der arabische Ausdruck ist *Marâjâ al muḥriqa*, so daß also *πυρεῖον* = Brennspiegel, wie schon Heiberg, Revue critique 1881, S. 381, angegeben, und zwar in einer Bemerkung zu Cantors Vorlesungen S. 306 (vgl. auch Heiberg Z. S. für Math. und Physik Bd. 28 Hist. Abt. S. 128 Anm.). Nach Heiberg stimmt obige Stelle zu einer von Anthemius in *περὶ παραδόξων μηχανημάτων* (ed. Westermann), der also wohl den Diokles

die Fläche dieser Spiegel entsprechend einer Parabel gekrümmt ist, sie die höchste Kraft besitzen und am stärksten brennen. Es gibt ein nach diesem Gesichtspunkte verfaßtes Werk von *Ibn al Haiṭam*[1]).

---

ausgeschrieben hat. Zur Konstruktion von Brennspiegeln durch *Anthemius* sei noch folgende Stelle mitgeteilt:

Da, wo davon die Rede ist, wie *Anthemius* seinen Nachbarn *Zenon* ärgert, heißt es bei *Agathias* etwa (Historiarum libri quinque. Bonn 1828, S. 293): Er fertigte aus einer Scheibe einen Spiegel, den er in der Mitte etwas vertiefte und erfüllte ihn, indem er ihn der Sonne gegenüberstellte, mit Glanz. Dann drehte er ihn nach einer andern Seite und schleuderte in das Haus (des Nachbars) einen solchen Glanz, daß er allen, auf die er gelenkt wurde, den Blick blendete.

[1]) Gemeint sind wohl die Schriften von *Ibn al Haiṭam* über sphärische und parabolische Hohlspiegel; (vgl. E. Wiedemann, Wied. Ann. 39, S. 110. 1890).

Ein Werk über Brennspiegel wird von *'Uṭârid Ibn Muḥammad*, der ein Rechner und Astronom war, im *Fihrist* (S. 278) erwähnt.

Von *al Kindî* stammen folgende Schriften über Brennspiegel (*Fihrist* S. 261): Über die Herstellung der Brennspiegel, über Brennspiegel, über die Glut (*Su'âr*) des Spiegels.

Eine andere Schrift über die Brennspiegel rührt ferner von *Qusṭâ Ibn Lûqâ* aus *Ba'albek* her (vgl. Suter, Math. S. 41).

Ein kleiner Traktat über Brennspiegel, der dem Alexander zugeschrieben wird, findet sich in dem Codex 1348 fol. 109[b] in Gotha (vgl. Beiträge III, S. 231). Er heißt Kapitel über den Spiegel, der das, worauf seine Strahlen fallen, entzündet und zwar auf einen Abstand zwischen 100 und 1000 Ellen. Aus der nicht ganz klaren Beschreibung ist zu entnehmen, daß man es mit einem Hohlspiegel zu tun hat, der aus einer ganzen Anzahl (20) von Spiegeln zusammengesetzt ist (vgl. Wied. Ann. 39, S. 110. 1890). Als Metall dient bestes *Isfidruj sukkarî* a).

---

a) Über das persische Wort *Isfidruj*, das wörtlich weißes Kupfer (Erz) heißt, gibt folgende Stelle aus *Dimeschqî* Aufschluß (arab. Text S. 55, franz. Übersetzung S. 60). Das *Châršînî* ist ein Metall aus China. Es gleicht dem *Isfahdrûh* (*Isfidrûj*) und heißt auch *Isbâdârîh* (das ist wohl dasselbe Wort in verstümmelter Form, die Vokale fehlen). Das erste ist vollkommener an Farbe, Härte und Ton. Die gelbe Farbe dieses Metalles ist mit Schwarz und Weiß gemischt. Die aus China eingeführten Spiegel, die Spiegel der Verzerrung heißen, sind aus diesem Metall gewonnen. (Entsprechend bemerkt *Qazwînî* [Text Bd. 1, S. 208. Übers. S. 427] auch macht man einen Spiegel daraus, aus dem der mit Gesichtszuckungen behaftete großen Vorteil zieht, wenn er sich in ein finsteres Gemach stellt und lange darauf hinschaut). . . . . Kein Metall gibt einen Ton, der demjenigen

Die Spiegel werden zusammengesetzt, so abgedreht, daß zwischen ihnen keine Fuge vorhanden ist, und dann überpoliert. Endlich wird das ganze gehärtet, wie man Schwerter härtet. Betont wird noch, daß man sich davor hüten muß, daß den Spiegel Rauch oder anderes trifft, da sonst die Politur sich ändert. — Der Schluß lautet: Wenn du seiner im Kriege bedarfst, so sorge dafür, daß dein Kampf mit dem Feinde sich vier Stunden des Tages hinziehtβ). Dann befiehl einem der Männer, daß er ihn (den Spiegel) der Sonne gegenüberstellt und ihn bewegt, bis die Strahlen auf den Feind fallen. Fallen sie aber auch auf 1000 Menschen oder 1000 Lasttiere, so werden sie diese mit der Erlaubnis Gottes verbrennen.

Einige Brennspiegel sind in dem von C. de Vaux in der Übersetzung herausgegebenen Livre des merveilles (Paris, C. Klinsieck. 1898), (leider fehlt der arabische Text) erwähnt S. 234, 281, 282. Dort sind auch magische Spiegel angeführt. Dem ganzen Charakter des Werkes nach kann sich aber leider keine klare Darstellung finden. M. Berthelot hat im J. des Savants 1899, S. 248 ff. die Angaben diskutiert und mit denen der Alten zusammengestellt.

---

dieses Metalles ähnlich ist, und keines ist zum Verfertigen von großen und kleinen Glocken so geeignet. — Durch den Zusatz *sukkarî* ist ein besonders weißes Metall bezeichnet.

Wir haben es bei *Charṣînî* und damit bei dem *Isfidrûj* mit einer Bronze zu tun, wie sich ergibt aus der Verwendung und aus folgenden Angaben von St. Meunier (C. R. Bd. 24, p. 1069. 1847; auf diese und andere Quellen waren die Herren von Luschan und F. W. K. Müller so freundlich mich hinzuweisen), aus einem chinesischen Werk: Erst wenn man das rote Kupfer in gelbes Kupfer umgewandelt hat, schmilzt man es und stellt aus ihm verschiedene Gefäße her. Verbindet man es mit einer gewissen Menge Arsenik, so erhält man das Pêtong oder weißes Kupfer, das zweimal schwerer zu bearbeiten ist, und das nur die Reichen benutzen. (Ein wenig Arsen verleiht in der Tat Cu-Sn-Legierungen hohen Glanz und starke Polierfähigkeit) . . . . Für Musikinstrumente muß man dem Kupfer eine Legierung von Zinn beimischen.

Zu *Charṣînî* (persisch *Charčînî*) ist folgender Vers des *Abû al Ma'ânî* (bei Vullers) zu vergleichen. „Einer, der den Freund zurückweist und ihn verschmäht, der macht dessen Herz von *Charṣînî* durchbohrt". Nach Richardson machen die Chinesen aus diesem Metall Spiegel und Pfeilspitzen, von denen eine Wunde tödlich ist; *Qazwînî* läßt aus ihm Lanzenspitzen und Harpunen anfertigen, die sehr wirksam sind.

Über das Wort *(I)sbiadâr(i)* hat auch *Karabacek* gehandelt, es ist das persische *sepîdrûi*, im Aussehen weißlich. Von ihm kommt das deutsche Wort *Spiauter*, eine Bezeichnung für Zinn, das auch für Zink benutzt wird. (Mitteilungen des k. k. Österr. Museums für Kunst und Industrie, Neue Folge, I. Band, 1886, S. 49 ff.)

β) Die Erklärung dieser Stelle ergibt sich, wenn man beachtet, daß die Beduinen beim Morgengrauen angreifen, nachdem man sich bei Nacht dem Lager genähert hat. (Jacob, Beduinenleben. 2. Aufl., S. 124.)

Ein spanisch-arabischer Dichter *Abû 'Abd Allâh Ibn al Chajjâṭ* (nicht *Channât* wie Dozy angibt s. v. hind) aus dem 11. Jahrhundert erwähnt in einem Liebesgedicht den Brennspiegel mit folgenden Worten: Wenn du wüßtest, was für ein Feuer in meinem Herzen (brennt), wie du es nicht entflammst durch Brennspiegel und Pech (*Maqqarî* Analectes Bd. 1, S. 330). Für Brennspiegel ist das Wort *Hindî* benutzt, das ursprünglich Stahl bedeutet.

Mirât al Hind oder ähnlich heißt ein Spiegel, der das Bild von Objekten zurückwirft. Meist ist es ein konkaver Spiegel, der dazu dient, entweder Objekte, die man ihm gegenüberstellt, zu vergrößern oder um sie zu verbrennen (vgl. Dozy Suppl. Bd. 2, S. 765).

Eine arabische Schrift über Spiegel findet sich auch in London im British Museum Nr. 426.

Bemerkt sei noch, daß *Ibn al Faqîh* (S. 205) von den Persern berichtet: „Sie sind das geschickteste Volk in der Herstellung von Spiegeln, von Kapseln (*Maǵma'*) und anderen Geräten aus Eisen".

Die Wissenschaft von den Schwerpunkten[1]) (den Mittelpunkten der Lasten, d. h. Gewichten) behandelt, wie man den Schwerpunkt (den Mittelpunkt der Last) eines getragenen (unterstützten) Körpers findet. Unter dem Schwerpunkt versteht man einen Grenzpunkt (*Hadd*) innerhalb des Körpers, bei dem er im Gleichgewicht ist, und zwar durch die Beziehung zum tragenden Körper. Der Nutzen dieser Wissenschaft beruht auf der Kenntnis, wie man das Gleichgewicht großer Körper mit kleineren herstellt dadurch, daß man den Abstand berücksichtigt.[a])* wie bei den *Qarasṭûn*[2]).

Hierüber gibt es ein Werk von *Abû Sahl al Kûhî*[3]) [b]), das in den beweisenden Prämissen elementar ist, und ein nützliches Werk von *Ibn al Haiṭam*.

Die Wissenschaft des Vermessens[4]) behandelt Größe der Linien, Flächen und Körper, und zwar, wie groß sie sind

---

[a]) Lies statt „*li*" „*bi*".

[b]) Lies so statt *Abû Sîl al Kûfî*.

[1]) H. Ch. hat diesen Artikel bis zum * Bd. 5, S. 489.

[2]) Vgl. Suter, Math. S. 75 u. 175. Eine Reihe von Sätzen über den Schwerpunkt von *al Kûhî* findet sich in *al Chazînîs* Wage der Weisheit S. 26. Bei Suter ist kein Werk über die Schwerpunkte aufgeführt; vielleicht ist es das Werk über die Mittelpunkte der Kugeln (statt „der Kugeln" haben andere Handschriften „der Instrumente" und „der Erde"); vgl. auch Beiträge III, S. 249.

[3]) Der *Qarasṭûn* ist eine Art Schnellwage (vgl. dazu Beitrag VI).

[4]) Ist bei H. Ch. nur in der Übersicht erwähnt.

im Verhältnis zu der Linie, dem Quadrat und dem Kubus[1]). Ihr Nutzen ist sehr groß bei der Festlegung der Grundsteuer, der Teilung der Ländereien, der Vermessung der Ortschaften und bei anderem als diesen. Zu den kurzen Werken über diese Wissenschaft gehört das Werk von *Abû Muǵallà al Mauṣili*[2]), zu denen von mittlerer Größe das von *Abu'l Muchtâr* und zu den ausführlichen das Werk von *Archimedes*[3]).

---

[1]) Längen-, Flächen- und Volummaße (*Mikjâl*) aus verschiedenen Gegenden sind u. a. in den *Mafâṭiḥ* S. 66 mitgeteilt, und zwar in einem Kapitel mit der Überschrift: „Über die Ausdrücke, die bei der Behörde der Äcker und der Naturalabgaben (oder Abgaben auf Naturalien *Nafaqa*) Verwendung finden, und zwar von den Ausdrücken, deren sich diejenigen, die die Ausmessung vorzunehmen haben (*mâsiḥ*), bedienen". Als Längenmaße werden angeführt *al Aschl* = 60 Ellen, *al Nâb* = 6 Ellen, *al Qabḍa* = $^1/_6$ Elle, *al Isba'* (Zoll) = $^1/_{24}$ Ellen. Flächenmaße sind *al Ǵarîb* = ein Aschl oder 60 Ellen im Quadrat, also 3600 *Dirâ' mukassara* (Quadratellen, dasselbe Wort kommt S. 70 als Kubikelle vor), *al Qafîz* ist gleich $^1/_{10}$ *Ǵarîb*, also 360 Quadratellen, *al'Aschîr* ist gleich $^1/_{10}$ *Qafîz*. Daran schließen sich die Volumenmaße, *al Qafîz* und *al Ǵarîb* werden auch als Ausdrücke für Volummaße aufgeführt; die Volummaße sind in verschiedenen Gegenden verschieden. (Zu den Arbeiten von H. Sauvaire über Maße vgl. Beiträge II, S. 325.) — Ganz dieselben Längenmaße sind im 10. Jahrhundert nach den *Ichwân al Ṣafâ* in *'Irâq* bei der Landvermessung üblich gewesen. Dieterici übersetzt *Aschl* = Seil, *Nâb* = Rohr, Ruthe, *Dirâ'* = Elle, *Qabḍa* = Faust, *Iṣba'* = Zoll. Der Zoll bestand aus 6 fest aneinander gelegten Gerstenkörnern. Ihr Zoll war also $^1/_{32}$ Elle. (F. Dieterici, Z. D. M. G. Bd. 18, S. 695. 1864 u. Praepaedeutik der Araber, S. 33. Berlin 1865.)

Schon früh gab es besondere Feldmesser. *Al Ja'qûbî* berichtet im *Kitâb al Buldân* S. 238 (Buch der Länder) gelegentlich der Gründung von *Baǵdâd* im Jahre 762 durch *al Manṣûr* (754—775 n. Chr.) folgendes: „Dann sandte er aus, um herbeizuholen die Techniker (*al Muhandis*) und Leute, die das Bauen verstanden und die mit der Elle umzugehen wußten und das Vermessen und die Teilung der Ländereien verstanden, damit sie ihm seine Stadt abgrenzten, die als die Stadt von *Abû Ǵa'far* bekannt ist. Und er ließ Bauleute kommen und Werkleute und Handwerker, wie die Zimmerleute und Schmiede und Erdarbeiter".

Weiter hat es schon von den Zeiten *'Omars* (634—641) an eine Steuer gegeben, die auf eine regelmäßige Vermessung gegründet war (vgl. M. van Berchem, La propriété territoriale. Inaug.-Diss. Leipzig 1806, S. 45 u. 73).

[2]) Nach einer gefälligen Mitteilung von Herrn H. Suter muß es wohl heißen *Ibn al Maḥalli al Mauṣili*. *Ḥaǵî Chalfa* führt von diesem (Bd. 2, S. 506, Bd. 5, S. 74, Bd. 6, S. 43) algebraische Schriften an.

[3]) Vgl. Steinschneider, Mathem. § 97.

Die Wissenschaft vom Heraufbringen der Gewässer[1]) behandelt wie man die in der Erde verborgenen Gewässer herausbringt und sichtbar macht. Ihr Nutzen liegt in der Belebung der öden Ländereien und deren Gedeihen. Von *al Karchi*[2]) gibt es darüber ein kurzes Werk, und an Stellen des Werkes „Die nabatäische Landwirtschaft“ [3]) sind die Hauptfragen dieser Wissenschaft behandelt.

Die Wissenschaft von dem Ziehen (*Ǵarr*) der Lasten[4]) behandelt die Erfindung der schweren Instrumente[a]). Ihr Nutzen besteht in dem Transportieren (*Naql*) einer großen Last mit einer kleinen Kraft. Schon *Heron*[5]) hat in seinem Werk über die Wissenschaft triftige Beweise dafür beigebracht, daß man 100000 *Raṭl* mit 500 *Raṭl*[6]) fortschaffen kann.

---

[a]) Nach H. Ch. muß es heißen „der Instrumente zum Ziehen der schweren Dinge“. Vielleicht entsprechen die Worte „schwere Instrumente“ dem griechischen *δυνάμεις*, d. h. den fünf Potenzen (vgl. Pappus 1116).

[1]) H. Ch. Bd. 1, S. 444; vgl. seinen Zusatz zu *al Anṣârî* Beiträge III, S. 232, dort finden sich auch weitere Angaben. — Über die Kenntnisse der Griechen in der Wissenschaft vom Heraufholen der unteren Gewässer vgl. Eugen Oder (Philologus Bd. 7, Supplbd. p. 231—383. 1899); die Arbeit handelt von den Quellensuchern, gibt aber auch nach anderen Richtungen viele Literaturnachweise.

Von *Pappus* (S. 1024) wird erwähnt die Kunst derer die speziell als Handwerker, die Maschinen machen (*μηχανοποιοί*) bezeichnet werden; denn mittels der Instrumente, welche sie zum Wasserschöpfen konstruierten, wird das Wasser leichter aus großer Tiefe in die Höhe gehoben.

[2]) Zu *al Karchî* vgl. Suter, S. 84 nr. 193. Eine Schrift über den obigen Gegenstand ist nicht erwähnt.

[3]) Zu *Ibn al Waḥschîja's* Nabatäischer Landwirtschaft vgl. Brockelmann Bd. 1, S. 242. A. v. Gutschmid, Z. D. M. G. Bd. 15, S. 1. 1861 und Kleine Schriften, herausg. v. F. Rühl Bd. 2, S. 568. 1890. Th. Nöldecke, Z. D. M. G. Bd. 29, S. 445. 1875 und unten.

[4]) H. Ch. Bd. 2, S. 589 hat diesen Abschnitt und fügt bei, der „*Imâm*“ hat am Ende seines Werkes Enzyklopädie der Wissenschaft Beweise für einige Fragen geliefert. Der Disputator (wörtlich der klare Untersucher) des *Miftâḥ al Sa'âda* erwähnt kein Werk über diesen Gegenstand.

[5]) Hammer-Purgstall gibt (S. 334) an: Die vorzüglichsten Werke sind: Das Buch der Gewichte von *Euklides*, das von *Ibn al Haiṭam*, dann zwei Werke von *Jaḥjà Ibn Rustem* und *Abû Sahl*.

[6]) Eine ganze Reihe von Angaben über die Lasten, die durch gegebene Kräfte bewegt werden, enthält Herons Mechanik (ed. L. Nix und W. Schmidt, lib. I cap. 1, lib. II, cap. 12 und folgende), dort ist aber nicht vom *Raṭl*, das manchmal einem Pfund entspricht, sondern vom *Qinṭâr*, dem

Die Wissenschaft von den Uhren[1]) (*Bikamât*)[2]) behandelt, wie man die Instrumente konstruiert, durch welche die Zeit gemessen wird. Ihr Nutzen besteht in der Kenntnis der Stunden des Gottesdienstes und in der Ableitung des Aufganges der Sterne und der Teile des Tierkreises. Die Alten haben sich statt anderer Apparate mit solchen begnügt, die durch den Anfluß des Wassers aus ihnen bewegt werden, weil sie den Positionen der Himmelskörper auf dem Bilde entsprechen. Weiter nützen sie dem Verstand bei der Schulung durch ihre Theorie (*'Ilm*) und ihre Anwendung. Das Buch des *Archimedes* über sie ist der Stützpfeiler (der zuverlässige Berater).

Zentner, dem Talent, die Rede. An der ersten Stelle ist vom Bewegen von 1000 Talenten durch 5 Talente die Rede; ganz analog wie in der obigen Stelle ist das Verhältnis 5 : 1000; vgl. auch Pappus S. 107.

Das oben erwähnte Werk ist die Mechanik des Heron, über die gelegentlich noch ausführlich zu handeln sein wird. Es muß arabisch im Mittelalter weit verbreitet gewesen sein.

Bei der Besprechung der Quecksilberuhr von Alfons X. von Castilien (vgl. Beiträge IV, S. 390) ist es zweimal erwähnt, bzw. Heron in der arabischen Form „Iran" (*Îran*).

Einmal heißt es S. 65: „Deshalb gaben wir dem genannten Rabiçag (nach A. Wegener *Ibn Sîd*) den Auftrag, ein Werk darüber zu schreiben, wie man diese Uhr mittelst des Werkes herstellen könne, das Iran der Philosoph geschrieben hat und in dem er berichtet, wie man schwere Gegenstände heben kann." Das andere Mal (S. 70): so daß das Verhältnis des Kreises der Mutter (dem Kreisring, in dem sich das Quecksilber befindet) zu dem Durchmesser des bewegenden Kreises (an dem das treibende Bleigewicht wirkt) so groß ist wie das Verhältnis des Bleigewichts zu dem Gewicht des Quecksilbers, und alles dieses wirst du finden, indem du es versuchst, wie es Iran der Philosoph in seinem Werke gesagt hat, in dem er davon handelt, wie man leicht schwere Gegenstände heben kann.

Diese Schrift ist wohl auch unter dem Werk De ponderibus von *Iranî* gemeint, das G. B. Donado (vgl. S. 400) erwähnt; sie ist also noch im 17. Jahrhundert im Orient bekannt gewesen.

[1]) Vgl. hierzu Beiträge III, S. 255.

[2]) Das arabische Wort *Binkâm* entstammt dem persischen *Pingân*, das auch in *Finǧân* übergegangen ist; vgl. Beiträge III, S. 259.

Oft wird für Uhr der Pluralis von *Sâ'a* die Stunde, *Sâ'ât* benutzt, so bei *Riḍwân*, aber auch der Singular kommt in dieser Bedeutung vor. Über die verschiedenen Bezeichnungen für die Uhr vgl. w. u.

In den Beiträgen Nr. III habe ich eine Reihe von Angaben über Kenntnis der Uhren bei den Alten und bei den Arabern gegeben. Im

folgenden sollen dieselben ergänzt werden. Eine Reihe von wichtigen Hinweisen verdanke ich der großen Güte von H. Prof. *Nallino* in Palermo.

a) Auf eine sehr interessante Stelle bei *Eusebius* a) über eine Uhr, die mit einem Planetarium verbunden ist, hat mich Herr Professor Dr. *Schöne* in Königsberg auf das liebenswürdigste aufmerksam gemacht.

Die Stelle lautet:

Er (der Mensch) allein von den (Wesen) auf Erden bildete auf der Erde, auf der er wandelt, das Gewölbe des Himmels nach, grub das Bild eben des Himmels in die ὕλη des Erzes, befestigte daran ein Abbild der Planeten und Fixsterne, ordnete die Fristen der Perioden und Zeiten durch die bildende Kunst, umgab es außen rings mit Tierfiguren und bildete (so) das Himmelsgewölbe durch die Größe des Wissens nach Art der geschauten Dinge. (Dies) ließ er (dann), wie der Gott des Himmels, auf der Erde seine Drehung mit dem All vollziehen. (So) kreist es sich in unendlichem Wunder und mit den (wirklichen Dingen) am Himmel kreisen sich die auf Erden (befindlichen) irdisch-hylischen Abbilder. Mit lauter Stimme ruft der Engel der Horen, allzumal werden sie in Einem Augenblick bewegt, die Türen öffnen sich von selbst beim Kommen der Horen, die seelenlosen Bilder der Vögel, die rings umher angebracht sind, rufen zirpend; der Mond, auf Erden (abgebildet), läuft mit dem am Himmel, das Erz wandelt von selbst eben seine Gestalten nach Art des Mondes, und zeigt das von ihm (ausgehende) Licht bald halb, bald abnehmend, bald voll, und die Bilder der Horen entsprechen den Horen der Natur, und so wetteifert die (durch) menschliche (Kunst konstruierte) Welt mit der Schöpfertätigkeit des göttlichen Logos.

Bei Vitruv lib. IX, cap. 8 heißt es, die Drehscheiben (bei der Wasseruhr) bewirken durch ihre Drehung die verschiedenen Bewegungen . . . . . Kügelchen oder Eier fallen, Blasinstrumente tönen etc.

Dem rufenden Engel entspricht ferner der intermittierend einen Ton gebende Mann an der von C. de Vaux publizierten Uhr des *Archimedes* (s. w. u.). Auf der von *al Ġazarî* gegebenen Abbildung derselben finden sich Gestalten mit Musikinstrumenten, ebenso wie die Zeichen des Tierkreises; eine besondere Zeichnung gibt die Mondphasen. Von der Stellung der Sonne in dem Tierkreis und dem Auf- und Untergang mit dem Tierkreis handelt ausführlich *Riḍwân*. Das Öffnen und Schließen der Türen kommt vielfach vor. Zu dem Zirpen der Vögel vgl. w. u.

Mag auch *Eusebius'* Beschreibung etwas poetisch vergrößert sein, so dürfte sie doch Vorrichtungen, die wirklich existiert haben, entsprechen.

Ein solches Planetarium, das wahrscheinlich durch ein Räderwerk bewegt wurde, dem selbst als Treibkraft eine Wasseruhr bezw. deren Schwimmer diente, soll Archimedes nach *Cicero* (Tuskulanen lib. I cap. 25) konstruiert haben. Cicero sagt, „als *Archimedes* die Bewegungen des Mondes, der Sonne und der fünf Planeten an einer [Himmels-]Kugel anbrachte, erreichte er, daß er die an Langsamkeit und Schnelligkeit so verschiedenen Bewegungen durch eine einzige Umdrehung leitete".

---

a) Eusebius Theophanie, hrsg. von H. Greßmann, S. 68. Leipzig 1904.

Auch *Posidonius* hat eine Vorrichtung hergestellt, deren einzelne Umdrehungen dasselbe an der Sonne, am Mond und an den fünf Planeten hervorbringen, was am Himmel während der einzelnen Tage und Nächte hervorgebracht wird (Cicero, De Natura Deorum lib. II cap. 34).

Bei *Pappus* S. 1027 heißt es: „Mechaniker nennt man endlich diejenigen, welche es verstehen Kugeln herzustellen und die ein Abbild des Himmels durch die gleichförmige und kreisförmige Bewegung des Wassers zu konstruieren", wobei *Archimedes* erwähnt wird. An dieser Stelle kommen auch *Herons ὑδρεῖα*, Wasseruhren vor.

Eine Zusammenstellung von Stellen, an denen von der Vorrichtung des Archimedes die Rede ist, findet sich bei *Fabricius* in Sext. Empiricus S. 577; ferner Pappus Bd. 3, S. 1027.

b) Der Bericht von *Ibn Ǵubair* a) (der 1185 und nicht, wie Beiträge III, S. 259 angegeben 1175 n. Chr. in Damaskus war) über die Uhr von *Damaskus* lautet folgendermaßen:

Auf der rechten Seite dessen, der durch das Tor *Ǵairûn* herausgeht, befindet sich an der Mauer des Palastes, welche vor ihm ist, eine Gallerie (*Ǵurfa*, *Loggia*); sie hat die Gestalt eines großen kreisrunden Bogens. In ihm befinden sich wieder [kleinere] Bögen aus Messing β), die sich in Türen öffnen, deren Zahl der Zahl der Stunden des Tages entspricht. Sie sind auf Grund mechanischer Anordnungen so eingerichtet, daß bei dem Ablauf einer Tagesstunde zwei Gewichte (*Ṣanǵa*) aus den Schnäbeln zweier Falken (*Bâz*) fallen; die Falken sind aus Messing hergestellt und stehen über zwei Becken (*Ṭassa*) γ) aus Messing, von denen je eines sich unter einem von ihnen befindet. Das eine befindet sich unter der ersten jener Türen und das zweite unter der letzten. Die beiden Becken sind durchlöchert. Wenn die beiden Kugeln (*Bunduq*) in sie gefallen sind, kehren sie innerhalb der Mauer (in der ein Kanal sich befindet) zurück zu der Gallerie. Und du siehst durch eine wunderbare Einrichtung δ) die

---

a) The Travels of *Ibn Ǵubair* ed. W. Wright S. 271. 1852. Eine Übersetzung der Stelle findet sich bei M. Amari, Le epigrafi arabiche di Sizilia. Parte 1, S. 23, Palermo 1875. Die kleinen Abweichungen meiner Übersetzung dürften durch unsere neueren Kenntnisse von solchen Uhren gerechtfertigt sein.

β) *Ṣufr* muß mit Messing übersetzt werden, da nachher *Nuchâs* = Kupfer vorkommt.

γ) Bei *Riḍwân* heißt es *Kas* Becher.

δ) Bei *Riḍwân* ist die Einrichtung genau geschildert und abgebildet, die Vögel drehen sich um eine horizontale, durch den Körper gehende Axe. Die von oben durch eine Rinne in den Kopf geleitete und zum Schnabel vorlaufende Kugel bedingt eine Neigung nach vorn; ein Gegengewicht, das durch einen gebogenen Stab mit dem Körper verbunden ist, und sich unterhalb der Drehungsaxe befindet, führt den Vogel in seine Lage zurück. Auf die Abgleichung des Gegengewichtes wird besondere Sorgfalt verwendet. Die Kugeln fallen auf eine vertikale Metallplatte

beiden Falken ihre Hälse mit den Kugeln zu den Becken ausstrecken und sie schnell herauswerfen und die Einbildungskraft konnte das für Zauberei halten. Bei dem Fallen der Kugeln in die Becken hörte man von ihnen ausgehend einen Lärm. Und die Türe, welche dieser Stunde entspricht, ist sogleich durch einen Türflügel aus Messing geschlossen. Dasselbe findet bei Ablauf einer jeden Tagesstunde statt, bis daß alle Türen geschlossen sind und alle Stunden abgelaufen sind; dann kehrt es in seinen ursprünglichen Zustand zurück (d. h. das Ganze ist so wie im Anfang).

Für die Nacht besitzt es eine andere Einrichtung. Sie besteht darin, daß in dem Bogen, der sich oberhalb der erwähnten Bögen wölbt, 12 Kreise aus Kupfer einziseliert sind, vor jedem Kreis liegt im Innern der Mauer ein Glas in der Gallerie α). All dieses ist hinter den erwähnten Bögen angebracht. Und hinter den Gläsern β) befindet sich eine Lampe, welche durch Wasser herumgeführt wird, entsprechend dem Maß der Stunde. Und wenn diese verflossen ist, durchleuchtet das Licht der Lampe das Glas und seine Strahlen strömen auf den Kreis, der sich vor ihm befindet, und den Blicken erscheint des Kreis rot. Dann wandert jene [die Lampe] zu einem anderen [Glasfenster], bis die Stunden der Nacht verflossen sind und alle Kreise rot geleuchtet haben.

Und es wird einer zum Verwalter auf der Gallerie bestellt, der ihren Zustand zu prüfen hat, der geübt ist in ihrer Angelegenheit und in ihrer Umschaltung, der regelmäßig die Türen öffnet und das Gewicht an seinen Ort tut γ). Das ist, was die Menschen *al Manǵâna* δ) nennen.

Auch *Qazwînî* (Bd. 2, S. 126) erwähnt die Uhr bei Damaskus. Es heißt „Und bei dem Ort, der jetzt unter dem Namen *Bâb al Sâ'ât* (Tor der Uhr) bekannt ist bei der *Ǵâmi'*. . . .“

---

und dann in einen Becher, sein Boden ist durchbohrt. Durch die Durchbohrung kommen sie in einen Kasten, „das Haus der Kugeln“. Die Einrichtung heißt *Manǵanîq*, das Gegengewicht *Muṭqila*.

α) Das soll wohl heißen, daß sich die Gläser nicht in oder vor der Mauerfläche befanden, sondern zurückliegen.

β) Wir würden sagen vor den Gläsern; von außen nach innen folgen aufeinander Lampe, Glas, Kupferscheibe. Nach der Beschreibung von *Riḍwân* war die Lampe fest und beleuchtete die 12 Kupferscheiben; im Lauf der Nacht wurden diese durch ein halbkreisförmiges Brett, das durch eine Wasseruhr bewegt wurde, allmählich verdeckt. Der Durchmesser des Brettes lag am Anfang der Nacht horizontal und seine Fläche unterhalb der Uhr.

γ) Diese Besorgung war anfangs ziemlich umständlich. *Riḍwân* rühmt sich f. 80ᵇ/81ᵃ, daß er erstrebt habe, daß irgend ein Diener oder eine Frau das Wasser einfüllen und die Sache in Gang setzen könne.

δ) Zu diesem Wort, das auch von *Pingân* kommt, vgl. Dozy Suppl. Bd. 2, S. 617; es hat verschiedene Formen, so *Manqâna*, von ihr heißt es „sie ist ein Instrument, mit dem man die Stunden bestimmt“, weiter heißt „die *Sâ'a* (hier im Singular), die *Maǵribiner* nennen sie *Manǵâna*.“ Auch die Form *Manqâla* findet sich.

In bezug auf die Geschichte der Uhr von Damaskus ist noch folgende Stelle von Interesse

Abu'l Faḍl Ibn 'Abd al Karîm al Muhandis (der Geometer), ... Er war es, der die Uhr an der *Ǵâmi'* (großen Moschee) in Damaskus in Ordnung brachte; für die Beobachtung und Besorgung derselben erhielt er ein beständiges Gehalt. (*Ibn Abî Uṣaibi'a* S. 190/191; Suter, Math. S. 129.)

e) Von einem in Konstantinopel aufgeführten Turm berichtet nach *al Herewî* (gest. 611/1214) (Brockelmann Bd. 1, S. 478) *al Qazwînî* (Bd. 2, S. 407) folgendes:

Zu den Wunderdingen dieser Welt gehört das, was *al Herewî* erwähnt, und das ist der Leuchtturm von Konstantinopel. Es ist ein mit Blei und Eisen gefestigter Turm und er befindet sich auf den *Maidân* (Hippodrom). Wenn die Winde wehen, neigen sie ihn nach Süd und Nord, Ost und West von der Basis des Fundamentes. Die Leute stecken Scherben und Wallnüsse in die Spalten seines Baues, dann zermalmt er sie *a*). — An ihm befindet sich ein *Finǵân al Sâ'ât* (eine Tasse der Stunden, d. h. eine Wasseruhr), an ihr sind 12 Türen angebracht, an jeder Tür, deren Zahl gleich derjenigen der Stunden ist, befindet sich ein Türflügel (*Miṣrâ'*), dessen Länge eine Spanne ist. So oft eine der Stunden der Nacht oder des Tages verflossen ist, öffnet sich eine Türe und aus ihr tritt eine Figur heraus, die stehen bleibt, bis die Stunde verflossen ist, dann tritt diese Figur hinein, die Türe wird geschlossen und die nächste Tür öffnet sich, aus der in derselben Weise eine Figur heraustritt. Und die Rumäer sagen, daß es ein Werk des *Balînâs* (wohl *Apollonius* von Tyana, da unmittelbar nachher von Talismanen die Rede ist) des Weisen sei.

Daß in den Palästen von Konstantinopel Uhren aufgestellt waren, wissen wir aus byzantinischen Quellen. Sie müssen zum Teil sehr groß gewesen sein; dafür spricht, daß ein Raum im kaiserlichen Palast in Byzanz das *Horologium* heißt, und angegeben wird, „die Offiziere hielten sich auf der Seite des Horologium". (De cer. aul. Byz. Lib I cap. 21, p. 123. Labarte, Le palais impérial, S. 158.)

Auf die Ansichten über die Konstruktion der transportablen Uhren, wie sie *Constantinus Porphyrogenitus* (de cer. aulicis Byz. ed. Reiske S. 472, und im Kommentar S. 559) behandelt, kann hier nicht eingegangen werden.

d) In der Cappella Palatina zu Palermo befindet sich eine Inschrift, welche berichtet, daß König Roger [II] eine kunstreiche Uhr im Jahre 1142 herstellen ließ (vgl. über die Cappella z. B. M. G. Zimmermann, Palermo. Leipzig 1905).

Die Inschrift auf weißem Marmor befindet sich nicht mehr an ihrem ursprünglichen Ort, und es dürfte schwer sein, denselben zu bestimmen. Jetzt findet sie sich am Eingang in die Cappella Palatina eingemauert,

a) Bis hierher ist die Übersetzung Jacob, Berichterstatter S. 75 entnommen.

doch ist dies erst zu einer Zeit nach der normannischen geschehen. Ihre Dimensionen sind 87 cm lang und 49 cm breit. Publiziert ist sie mehrfach bei R. Gregorio, Rerum arabicarum etc. p. 176. Palermo 1790. N. Buscemi, Notizie della Biblioteca di San Pietro etc. Palermo 1840, tav. V. M. Amari, Le epigrafi arabiche. Parte 1, S. 17. Palermo 1875.

Wir teilen im Anschluß an die Übersetzung von Amari die drei Inschriften mit.

Die lateinische lautet: Diese Uhr befahl der Herr und herrliche König Roger herzustellen im Jahre der Menschwerdung Christi 1142, im Monat März in der Indictio 5 *a*), im wahren 13. Jahre seiner Regierung. Glücklich!

Die griechische Inschrift lautet: Neues Wunder! Der mächtige Fürst Roger, der König, dem Gott das Szepter verliehen hat, zügelt den Lauf des flüssigen Elementes, indem er unfehlbare Kenntnisse der Stunden der Zeit verleiht. Im 12. Jahr seiner Regierung im Monat März, in der Indictio 5 im Jahre 6650 [Konstantinopolitanische Zeitrechnung nach Erschaffung der Welt].

Die arabische lautet: Die königliche Majestät, verehrt und erhaben, von Roger, dessen Tage Gott verlängere und dessen Feldzeichen er unterstütze, hat veranlaßt die Herstellung des Instrumentes (*Âla*), um die Stunden zu beobachten in der Hauptstadt von Sizilien, die bewacht wird [von Gott] im Jahre 536 [d. H.].

e) Bei Besprechung der Insel Malta bemerkt *Qazwînî β*) folgendes: Auf *Mâlṭa* führt *Ibn Samanṭî* der Dichter, der Malteser seinen Ursprung zurück; er war ein Wunder im Improvisieren in gebundener poetischer Rede. *Abu'l Qâsim Ibn Ramaḍân* aus Malta berichtet: Einer der Geometer (Mechaniker) in Malta hatte seinem König ein Bild hergestellt, durch das man die Zeit der Stunden des Tages kennen lernte. Es warf Kugeln auf die *Ṣanǧ*. Da sagte ich [als ich diese Vorrichtung sah] zu *'Abd Allâh Ibn al Samanṭî*: Vervollständige diesen Halbvers!

Ein Mädchen wirft nach den *Ṣanǧ γ*).

und er erwidert:

Über sie sind die Herzen erfreut

als ob der, der sie sinnreich verfertigte, in den Himmel gestiegen war und die Sphären erforschte und das Geheimnis der Tierzeichen und Grade lichtete

[er sagt dies] als ob er diese Halbverse aus dem Gedächtnis rezitierte.

---

a) Indictio ist eine besondere Periode, die bei mittelalterlichen Angaben des Datums zur sichereren Bestimmung angegeben wird.

β) *Qazwînî* Bd. 2, S. 374. Amari, Biblioth. arabo sicula p. 143, wobei die Berichtigungen von Fleischer S. 45 der Einleitung zu diesem Werk zu beachten sind. Eine ziemliche freie Übersetzung findet sich bei *Amari*, Le epigrafi arabiche di Sicilia. Parte 1, S. 22, Iscrizioni Edili. Palermo 1875.

γ) *Ṣanǧ* ist die Zimbel, bei der von Carra de Vaux beschriebenen Uhr heißt sie *Mirât*, ebenso bei *Riḍwân* fol. 74^{b}/75^{a}. Sie hängt an einem Stabe, der über das Becken, in das die Kugeln fallen, gelegt ist, senkrecht herab.

Abweichend von den sonst beschriebenen Uhren ist es hier ein Mädchen, das nach den Cymbeln wirft, und nicht ein Vogel.

Nach einer Stelle, die in der Bibliotheca arabo sicula mitgeteilt ist, schrieb *Ibn Ramaḍân* zum Lobe von König Roger; daraus schließt Amari, daß der besungene Mechaniker für König *Roger* eine Uhr konstruiert habe und daß es sehr wahrscheinlich sei, daß dies diejenige war, auf die sich die Inschrift in der Cappella bezieht.

f) Eine andere offenbar höchst kunstvolle Uhr ist mehrfach beschrieben worden. Sie befand sich in *Tlemcen*, das eine Zeit lang im 13. und 14. Jahrhundert eine große Rolle gespielt hat. Die Stadt liegt bekanntlich in der algerischen Provinz *Oran*, ca. 40 km vom Meer entfernt.

Eine kurze Beschreibung *α*) hat zunächst *Dozy* mitgeteilt.

In der Nähe des Sultans befindet sich der Kasten (*Chizâna*) der Klepshydra (*Manǵâna*); er war verziert, als ob es ein Gewand aus Jemen wäre. Er hat vertiefte Türen, deren Zahl den zeitlichen Stunden der Nacht entspricht. Jedesmal, wenn eine Stunde vergangen ist, wird ein Schlagen ausgelöst, entsprechend ihrer Rechnung (d. h. entsprechend der Nummer der Stunde), und es öffnet sich dabei eine dieser Türen, und aus ihr tritt hervor ein wunderschön gebildetes Mädchen. In ihrer rechten Hand hat sie ein Stück Papier, das Poesie enthält, in der diese Stunde namhaft gemacht ist, und ihre linke Hand hat sie auf dem Munde, als ob sie dem Chalifen die gebührende Huldigung darbringt.

Eine genauere Schilderung der obigen Uhr gibt der *Imâm Ṣîdî Abû ʿAbd Allâh Muḥammad Ibn ʿAbd al Ǵalîl al Tenesî β*):

Was besonders die Bewunderung der Beschauer erregte, war die wunderbare Uhr (*Chizânat al Manǵâna*), die den Palast des Königs von *Tlemcen* schmückte. Dieses mechanische Werk war mit mehreren Figuren aus Silber von sehr sinnreicher Arbeit und solider Konstruktion geschmückt. Oberhalb des Kastens erhob sich ein Busch und auf diesem Busch saß ein Vogel, der seine beiden Jungen mit seinen Flügeln bedeckte. Eine Schlange, die aus ihrem Versteck kam, das am Boden des Gesträuches sich befand, kroch langsam gegen die beiden Jungen, die sie überraschen und verschlingen wollte. Auf der vorderen Seite der Uhr waren 10 (10!) Türen, so viele, als man Stunden in der Nacht zählt, und zu jeder Stunde erzitterte eine dieser Türen, indem sie knirschte. Zwei Türen, die höher

---

α) Diese Stelle stammt aus einem Werke: Die mittlere Perle (der Behelf?) der Könige, über die Regierung der Könige (*Wâsiṭat al Mulûk fî Sijâsat al Mulûk*) von dem König *Abû Ḥammû II Mûsà Ibn Jûsuf* (1352 bis 1396), der selbst die Uhr bauen ließ; es ist in Tunis 1279 (1862) gedruckt; die betreffende Uhr ist nicht besprochen bei Hoest, Nachrichten von Marokos. Kopenhagen 1781; vgl. Dozy bei *Manǵâna* Suppl. Bd. 2, S. 617.

β) J. J. L. Bargès, Histoire des Benî Ziyan Rois de Tlemcen par L'Imam etc. et Tenessy, S. 73. Paris 1852. J. J. L. Bargès, Souvenir d'un voyage à Tlemcen. Paris 1859, S. 368 ff.

und breiter als die anderen waren, bildeten die seitlichen Enden des Stückes. Oberhalb all dieser Türen und nahe an der Nische sah man die Kugel des Mondes, die sich in dem Sinne der Äquatoriallinie drehte und genau dem Gang, den dieses Gestirn damals aus der Himmelssphäre einschlug, folgte. Bei Beginn jeder Stunde, in dem Moment, wo die Türe, die ihr entsprach, ihr Knirschen hören ließ, kamen zwei Adler plötzlich aus der Tiefe der beiden großen Türen heraus, bogen sich über ein Kupferbecken und ließen in dieses ein Kupfergewicht fallen, das sie in ihren Schnäbeln hielten: dies Gewicht trat in eine Öffnung in der Mitte des Beckens und rollte in das Innere der Uhr. Dann stieß die Schlange *α*), die bis zu der Höhe des Busches gekommen war, ein scharfes Zischen aus und biß eines der Jungen, trotz der verdoppelten Schreie des Vaters, der sie zu verteidigen suchte. In diesem Moment öffnete sich die Türe, welche der Stunde entsprach, von selbst, eine junge Sklavin trat heraus, die einen Gürtel von gestreifter Seide trug. In ihrer rechten Hand reichte sie ein offenes Heft dar, in dem man die Namen der Stunde in einem kleinen Stück in Versen las *β*); die linke Hand hielt sie auf den Mund, wie wenn man einen Chalifen grüßt.

Über den Erbauer dieser Uhr *Ibn al Faḥḥâm* erfahren wir in der Geschichte der *Banû ʿAbd al Wâd γ*), der Könige von Tlemcen, von *Abû Zakarîjâ Jaḥjà Ibn Chaldûn δ*) folgendes: Der Schüler des Vorhergehenden (nämlich von *Abû ʿAbd Allâh Muḥammad Ibn Jaḥjà Ibn al Fachchâr*, einem hervorragenden Juristen und Mathematiker), der Jurist *Abu'l Ḥasan ʿAlî Ibn Aḥmad*, der unter dem Namen *Ibn al Faḥḥâm* (Sohn des Köhlers) in den mathematischen Wissenschaften bekannt ist, war der gelehrteste unserer Zeit. Er gehörte zu einer tugendhaften Familie. Von ihm rührt von mechanischen Werken *al Manǵâna* her, die in *Maǵrib* (Nordwestafrika) bekannt ist. Dafür belohnten ihn seine Könige mit einer Rente von 1000 Goldinaren, welche die Gouverneure der Provinzen zu liefern hatten.

[Die *Manǵâna* funktionierte zum erstenmal am Geburtsfest (des

---

α) Diese ganze Anordnung entspricht einer von *Philon* beschriebenen (Pn. S. 177) und lehrt, wie lange sich die Tradition aufrecht erhalten hat.

β) Eine Serie von 10 recht schwülstigen Versen, bezw. von 10 Gedichten, einige hatten einen ziemlichen Umfang, hat *Jaḥjà Ibn Chaldûn* (s. w. u.) auf Befehl des Königs *Abû Ḥammû* für das Geburtsfest des Propheten 770 d. H. (1368/69 n. Chr.) gedichtet (vgl. Bargès, Souvenir S. 371 ff. und Complément de l'histoire des Bein-Zeiyan. Paris 1887, S. 206); dort ist auch angegeben, daß *Maqqarî* solche Verse zitiert; das betreffende Stück fehlt aber in der Krehlschen Ausgabe. Den arabischen Text von *Ibn Chaldûn* wird wohl Bd. 2 des Werkes von Bel (s. unten) enthalten.

γ) Histoire des *Beni ʿAbd al Wâd* Rois de Tlemcen etc. par A. Bel. Bd. 1. Alger 1904. Die Stelle steht im Text S. 56, in der Übersetzung S. 69. Das Werk ist stark benutzt in J. J. L. Bargès, Complément etc. S. 217.

δ) Der Mann ist ein Bruder des berühmten Historikers.

Propheten) des Jahres 760 (1358/9) unter der Regierung des Königs *Abû Ḥammû Mûsà* in dem Palast des Audienzsaales (*Maschwar*) *α*).]

Aus der Gewährung der Rente schließt Bargès (Souvenirs S. 376), daß *Ibn al Faḥḥâm* noch andere ebensolche Uhren hergestellt habe. Die von uns erwähnte war noch im Jahre 814 d. H. (1412 n. Chr.) in Gebrauch, sie wird gelegentlich des ersten Geburtsfestes des Propheten nach dem Regierungsantritt von *Sa'id*, dem Sohn *Abû Ḥammû's* erwähnt.

g) Eine andere Stelle *β*), über die Wasseruhr, in der auch eine Reihe anderer technischer Angaben sich findet, ist folgende:

Und zu ihren Erzählungen über den Scharfsinn und das Herausbringen und die Entdeckung der Wissenschaften gehört, daß *Abu'l Qâsim 'Abbâs Ibn Firnâs γ*), der Weise von Spanien, der erste war, der in Spanien die Herstellung des Glases aus Steinen erfand, und der erste war, der durch sie (die Wissenschaften) die Schwierigkeiten im Werk über Metrik von *Chalîl* löste, und der erste war, der die Schwierigkeiten in der Musik löste, und der die unter dem Namen *Minqâla* bekannten Instrumente [Uhren] herstellte, um die Zeiten kennen zu lernen ohne Strich und Abbild (d. h. nicht mit Sonnenuhren). Er ersann eine Vorrichtung, um seinen Körper zum Fliegen zu bringen; er machte sich Flügel, bekleidete sich mit Federn und flog eine große Strecke durch die Luft. Da er aber die Sache beim Niederfallen nicht wohl erwogen hatte, so nahm er an seinem Hinterteil Schaden: er wußte nämlich nicht, daß der Vogel nur auf den Steiß fällt und hatte sich keinen Schwanz gemacht.

Er verfertigte in seinem Hause ein Abbild des Himmels und spiegelte auf ihm dem Beschauer die Gestirne, die Wolken, die Blitze und die Donner vor.

Von den verschiedenen Arten des Fliegens von Menschen wird vielfach in der arabischen Literatur gehandelt, so in Tausend und eine Nacht, (vgl. dazu de Goeje in te Gids 1889, Nr. 8, S. 31) in muhammedanischen Heiligenlegenden (vgl. Goldziher, Muhammedanische Studien, Bd. 2, S. 294. Halle a/S. 1890). Einige Angaben seien im folgenden gegeben.

Der von *Firdôsî* in der *Schâhnâme* besungene *Schâh Kei Kâûs* fliegt gegen Himmel, indem er seinen Thron von vier Adlern hinaufziehen läßt; diese wollen Fleisch, das an hohen über dem Thron befestigten Stangen befestigt ist, fressen (vgl. *Firdôsî* übersetzt von Rückert S. 408 u. P. Horn, Geschichte der persischen Literatur S. 87).

Ibn al Faqîh † 902 berichtet eine Legende von einem fliegenden Baumeister, der auf der Zinne eines Turmes, den er selbst erbaut hatte, durch Verhungern sein Leben enden sollte, damit er keinen ähnlichen errichte und der sich dadurch rettete, daß er sich einen Flugapparat her-

---

α) Das [ ] steht nicht in dem von A. Bel mitgeteilten Text.

β) *Maqqarî* Bd. 2, S. 254, s. auch Lerchundi u. s. w. Crestomatia S. 66; vgl. auch H. Suter, Bibl. math. (2), Bd. 11, S. 85. 1897.

γ) Nach Suter hat *Ibn Firnâs* in der zweiten Hälfte des 9. Jahrhunderts gelebt.

stellte. Bei *Ibn al Faqîh* ist auch das Bild eines Baumeisters *Futtûs* erwähnt, der zwei Flügel eines Vogels an seinem Kopf hat. *Futtûs* hatte das berühmte Wunderpferd *Schebdîr* hergestellt (*Goldziher*, Globus Bd. 86, S. 95. 1904).

Wie verbreitet der Glaube an die Möglichkeit des Fliegens war, zeigt die Leichtigkeit, mit der der Pseudomessias *David Alrui* in *Baġdâd* den Juden in *Baġdâd* einbilden konnte, sie würden von Baġdâd nach Jerusalem fliegen können (Grätz, Geschichte des Judentums, Bd. 6, S. 298. Leipzig 1861).

h) In Tausend und eine Nacht überreicht ein griechischer Weiser dem König ein silbernes Becken, in dessen Mitte ein goldener Pfau sitzt, umgeben von 24 Jungen. Der Pfau pickt nach Ablauf jeder Stunde eines seiner Jungen und zeigt so die Tageszeit an. Nach dem Verlauf jedes Monats öffnet er den Schnabel, und in ihm erscheint der Mond (Übersetzung von G. Weil, Bd. 1 S. 339. Stuttgart 1872).

i) Wasseruhren freilich primitivster Form waren noch in der Mitte des vorigen Jahrhunderts in der Oase *Ġadâmes* der Sahara gebräuchlich. J. Richardson[1]) berichtet, daß er ging, um die Wasseruhr (*Munqâla* oder *Sâ'ât al Mâ*) zu sehen. Sie ist in derselben Weise konstruiert wie ein Stundenglas (d. h. eine Sanduhr). Sie besteht aus einem kleinen irdenen Topf mit einer Öffnung am Boden. Wird sie 24mal mit Wasser gefüllt und fließt sie aus, so entspricht dies einer Stunde. Diese Uhr dient, um die Dauer der Bewässerung von Grundstücken festzustellen, die je nach deren Größe und dem Abstand von der Quelle verschieden ist. Danach wird eine Steuer erhoben, manche Eigentümer haben aber auch bestimmte Wasserrechte. In der Oase Laghouat in Ostalgier bestehen entsprechende Vorschriften; die Zeit wird dort von einem Beamten, der das Wasser verteilt, mittelst einer Sanduhr bestimmt; danach öffnet und schließt er die Bewässerungskanäle. Solche Vorschriften gab es schon im Altertum.

Diese einfachen Formen der *Klepshydra*, bei denen Wasser aus einem Gefäß aus Glas oder Ton durch eine oder mehrere kleine Öffnungen am Boden ausfließt, gehen weit in das Altertum zurück. (Ihre Dimensionen waren sehr verschieden, die größten faßten eine Amphora = 39 Liter.) Sie standen auf einem Dreifuß, und ein anderer Rezipient unter ihnen nahm die Flüssigkeit auf; vgl. w. u. bei *Ṭarġahâra*.

Die Öffnungen waren jedenfalls sehr eng, da sich der Temperaturunterschied zwischen Winter und Sommer geltend machte, in letzterem floß das Wasser schneller aus; das kann nur von der kleineren inneren Reibung herrühren (vgl. zu diesen Uhren Daremberg und Saglio, Bd. 3 (1), S. 260 und J. Marquardt, Das Privatleben u. s. w. 2. Aufl., Teil 2, S. 788).

An ein solches Gefäß, bei dem dann wohl die untere Öffnung verstopft war und das unter Wasser umgekehrt wurde, denkt wohl *Aristoteles* in der unten angeführten Stelle.

---

[1]) J. Richardson, Travels in the Sahara Bd. I, S. 185. London 1848.

Vielleicht ist die Notiz von Interesse, daß *Newton*α) in seiner Jugend eine Wasseruhr mit einem Schwimmer konstruiert hat. Später bemerkte *Newton*, daß der Hauptnachteil der Wasseruhren darin bestand, daß die kleine Öffnung, aus der das Wasser ausfloß, sich durch dessen Unreinigkeiten verstopfte; während bei Sanduhren das entgegengesetzte eintritt, deren Öffnung durch den durchfließenden Sand erweitert sind.

In dem Werke von *Abû Jûsuf* († 795. Brockelmann Bd. 1, S. 171) über die Grundsteuer (*Kitâb al Charâġ*), das in einem Kapitel (S. 53 des Bûlâqer Druckes) über die Wasserleitungen (*Qunijj*), die Brunnen, die Kanäle (*Anhâr*) und das Tränken handelt, finden sich an dieser Stelle keine Angaben über Wasseruhren (zu diesem bedeutenden Werke vgl. von Kremer, Kulturgeschichte, Bd. 1, S. 492 u. 498).

Sehr ausführlich wird ferner von *Abû Jûsuf* (S. 29 ff. und auch sonst) sowie von anderen die Besteuerung der Grundstücke behandelt, die eine verschiedene ist, je nachdem sie von Wasser an der Oberfläche ohne künstliche Hilfsmittel geschieht (solcher Boden heißt z. B. *al Saiḥ*) oder vom Himmel aus, durch Regen oder mittelst künstlicher Hifsmittel, wie durch die hydraulische Maschine (*Ġarb*) oder durch den Schöpfeimer (*Sâniją*) oder durch das Wasserrad (*Dâlija*). Auch von der Bewässerung durch den Strick (*Rischâ*), d. h. mit Eimern wird gesprochen, weiter von der aus einem aufgestauten Teich (*Ġîl*) β).

Auch wird ein zweimaliges Bewässern erwähnt. Indes habe ich keine Angabe über die Zeitdauer des Bewässerns und eine Wasseruhr gefunden.

Von ganz entsprechenden Steuern handelt sehr eingehend *Iṣṭachrî* S. 157 bei *Schîrâz*, *Iṣṭachr*, *Arraġân* u. s. w.; dort kommt das Wort Rasm als Steuer (*Taxe*) (s. w. u.) vor, aber auch hier ist nicht eine Wasseruhr erwähnt γ).

Ob in dem Werke über die Traditionen von *al Buchârî* († 879. Brockelmann Bd. 1 S. 157) sich entsprechende Vorschriften finden, muß später untersucht werden.

j) Bei der Stadt *Anṭâkija* (*Antiochia* in Syrien) (*Jâqût* Bd. 1, S. 383, 18) ist von einer Kirche (*Kanîsa*) die Rede; über ihrem einen Tor befindet sich ein *Finġân lil Sâ'ât* (eine Wasseruhr), sie ist Tag und Nacht fortdauernd zwölf Stunden in Gang, und sie gehört zu den Wundern der Welt.

α) *Newton* by Sir David Brewster, herausgeg. von E. Schenck und L. Bahlsen, S. 5. Berlin 1885.

β) Die auf diese Gegenstände bezüglichen technischen Ausdrücke sind in den *Mafâtiḥ* S. 98 ff. behandelt.

γ) Vgl. hierzu auch *M. van Berghem*, La propriété territoriale etc. Étude sur l'impot du *Charâg*. Inaug.-Diss. Leipzig 1886. Auf S. 63 finden sich nach dem Glossar zu *al Balâḏarî*, den de Goeje herausgegeben, zahlreiche technische Ausdrücke für die verschiedenen Arten von bewässertem Land.

k) In einem kleinen Buch über die Taschenspielerkunst in Leyden von *Muḥammad Ibn Abî Bakr al Zarchûrî al Miṣrî* (vgl. Beiträge IV, S. 390) ist eine Kerze beschrieben, die die Stunden der Nacht anzeigt (*muwaqqitat Sâ'ât al Lail*), und bei der am Ende jeder Stunde ein Kügelchen in ein kupfernes Becken niederfällt (De Goeje, Z. D. M. G. Bd. 20, S. 107. 1886).

l) Im folgenden sollen noch eine Reihe von Namen für die Uhr besprochen worden; inbezug auf *Binkâm* und *Manǧâna* sei im wesentlichen auf das vorhergehende verwiesen.

Vullers (Bd. I, S. 378) gibt für *Pinkân* an, daß es u. a. ein eherner Becher (*Ṭâs-i-Mis*) ist, in dessen Boden eine enge Öffnung sich befindet, so daß, wenn man ihn in Wasser setzt, das Wasser allmählich durch jene in ihn eindringen kann, also eine Klepshydra, deren sich die Landleute bedienen, um die Wassermenge zu bestimmen, durch die die Saaten bewässert werden (vgl. w. u.), und die Jndier, um die Teile der Tages- und Nachtzeit angeben zu können.

In den *Mafâtîḥ* S. 235 findet sich eine Zusammenstellung der Uhren, von denen ein Teil, und zwar jedenfalls die ersten, Wasseruhren sind. Es heißt dort:

Zu den Instrumenten der Stunden gehört das Trinkgefäß (*al Ṭarǧahâra*), der Kasten der Stunden (*Ṣundûq al Sâ'ât*) *α*), der Schwimmer *β*) (*Dabba*), die Sonnenuhr (*al Ruchâma* ist der Marmor und bedeutet die Platte, auf die die Schatten projiziert werden), *al Mukḥala γ*) und *al Lauḥ* (Brett).

Dozy gibt (Suppl. Bd. 2, S. 80) als Bedeutung für *Ṭarǧahâra* (vom persischen Wort *Tarkihâr*), an, „Platte, auf der man geronnene Milch zerschneidet, ferner Flasche", doch weist de Goeje (Geogr. arab. Bd. 4, S. 287) nach, daß es an der zitierten Stelle einem Becher (*Qadaḥ*) oder auch einem Becher (*Kas*) entspricht. Letztere haben nach den Zeichnungen bei *Riḍwân* etwa die Form eines Rheinweinrömers, mit etwas weiterem Glase und kürzerem Stiel; auch als eine Tasse (*Ṭâs*) wird das Gefäß bezeichnet.

Das Wort *Ṭarǧahâra* wird in einer Dioskoridesübersetzung durch *Ḥunain Ibn Isḥâq* und *Stephanus*, den Sohn des *Basilius* (Leydener Katalog Nr. 1031, Bd. 3, S. 227), auf S. 230 durch *Qar'a* = Gurke, d. h. den unteren Teil des Destillationsgefäßes, auf den der *Ambiq* aufgesetzt wird, definiert (vgl. E. W., Z. D. M. G. Bd. 32, S. 576. 1878).

α) *Ṣundûq* als Uhr wird auch bei H. Chalfa erwähnt; vgl. Beiträge III, S. 256. Ferner kommt das Wort bei *Riḍwân* in der Einleitung f. 4a vor und bedeutet dort den Kasten, in dem sich die Türen befinden.

β) Zu *Dabba* vgl. Beiträge VI.

γ) *al Mukḥala* bedeutet eine Kriegsmaschine, eine Art Balliste, ferner auch eine Büchse zum Aufbewahren von Gegenständen. Vielleicht ist die erste Bedeutung die hier zu benutzende und ein schräg gestelltes Brett gemeint, dem eventuell verschiedene Neigungen gegeben werden.

Die Bedeutung von *Ṭarġahâra* als Uhr (Wasseruhr) ergibt sich aus mehreren Stellen, so heißt es bei *Muqaddasi* S. 357 von den Bewohnern einer Gegend von *Churasân* bei *Bîǰâr*:

Und es ist Wassermangel für die Erde und den Obstgarten; durch *al Ṭarġahâr* wird es verteilt auf Grund der Taxe (*Rasm*) in *Arraǵân* .... Und die Mühlen (*Raḥà*) sind unter der Erde und das Wasser läuft im Kreise herum (statt *miḥdâr* wird *madâr* zu lesen sein). Sie existieren in einer Wüste u. s. w.

In der Enzyklopädie des *Nowairî* († 1332, vgl. Brockelmann, Bd. 2, S. 139) findet sich eine Stelle über die *Ṭarġahâra* (de Goeje, Geogr. Bd. 4, S. 287. Herr Dr. *Juynboll* war so sehr gütig, mir die betreffende Stelle abzuschreiben). Es heißt dort: Und darüber, was man von der *Ṭarġahâra* sagt: *Abu'l Fatḥ Kuschâǵim* beschreibt sie:

Geist von Wasser in dem Körper von Messing vereinigt durch die Feinheit des Gefühles und des Gedankens; er hat auf den Rücken versteinerte Augenlider und eine Pupille, deren Träne stetig rinnt über einem Kessel. In seinem (des Körpers) unteren Teil entstehen Bewegungen, wie wenn es Bewegungen des Wassers im Gaumen wären, und auf dem oberen Teil ist eine Teilung (Rechnung) eingeteilt für die, die ohne Verstand und Überlegung hinblicken.

Dann wird in poetischer Form der Nutzen der *Ṭarġahâra* geschildert, wie man mit ihr die Teile der Stunden der Nacht und des Tages erkennt u. s. w.

Man hat hier offenbar die einfachste Form der Klepshydra, ein ausfließendes Messinggefäß, das aber eine vertikale Teilung besitzt; die Augenlider dürften seitlich angebrachte, mit einer durchsichtigen Substanz bekleidete Spalte sein, neben denen sich die Teilung befindet, die Pupille ist die untere Öffnung.

Nach einem arabischen Schriftsteller (vgl. de Goeje a. a. O.) ist der Unterschied zwischen *Ṭarġahâra* und *Binkâm*, daß die erstere durch Wasser (*maîja*), letztere durch Sand bewegt werde (*ramlîja*), eine Unterscheidung, die aber nicht überall zutreffend ist.

Selten kommt als Bezeichnung für Wasseruhr vor *Surraqât al Mâ*, (die Diebin des Wassers) es ist dies die Übersetzung des Wortes Klepshydra und *Surraqa*, so in dem *Kitâb al Masâîla*) (S. 42). Bei der Behandlung der Frage nach der Existenz eines leeren Raumes heißt es: Eine mit Wasser gefüllte Wasseruhr wird oben geschlossen, dann fließt das Wasser, trotzdem dies seiner Natur entsprechen würde, nicht aus der Öffnung derselben heraus, weil nichts an seine Stelle treten könnte und dann ein leerer Raum entstehen müßte u. s. w. In einer arabischen Übersetzung von Aristoteles Physik (Aristoteles Opera omnia, Pariser Ausgabe, Bd. 2, S. 292, Physik Kap. VI [VIII]), wo es sich um das Auffangen der aus

---

a) *Kitâb al Masâîl* etc. von *Sa'îd Ibn Muḥammad al Naisâbûri* (lebte zwischen 952 und 1068) (die atomistische Substanzlehre aus dem Buch der Streitfragen zwischen Basrensern und Bagdadensern, ediert von A. Biram. Leyden 1902. Inaug.-Diss. Leipzig 1901/02).

einem Schlauch durch Zusammendrehen ausgetriebenen Luft in einer Klepshydra handelt, heißt es, „dadurch daß sie es auffangen in den Apparaten, welche als *Surraqât* beschrieben werden". — *Sâriqat al Mâ* bedeutet nach den *Mafâtiḥ* (S. 251) auch den Heber.

In demselben Werk (S. 43) wird im nächsten Abschnitt als der von einer philosophischen Partei angegebene Grund für das Zerspringen eines Kruges, in dem Wasser gefriert, angegeben, daß das Wasser sich beim Gefrieren zusammenzieht und dadurch ein leerer Raum entsteht, da beim Gefrieren keine Luft an die Stelle des Wassers tritt. Da dies nicht möglich ist, so muß das Glas zerbrechen.

Die Philosophen gehen hier von der vorgefaßten Meinung aus, daß die festen Körper einen kleineren Raum als die flüssigen einnehmen, trotzdem das Schwimmen des Eises auf Grund der Betrachtungen in den den Arabern bekannten Arbeiten des Archimedes sie eines Besseren hätte belehren müssen; ganz abgesehen davon, daß wohl schon damals spez. Gewichtsbestimmungen vorgelegen haben, die dann von *Al Chazini* (zwischen 1117 und 1157) zusammengefaßt wurden; er gibt für das Eis ein spez. Gewicht von 0,965 an.

Von persischen Ausdrücken für die Uhr kommen noch vor *Schische-i-Sâ'at*, das Stundenglas, es ist eine Sanduhr gerade wie die unsrige, die in einer Stunde abläuft, sie besteht aus zwei übereinander befindlichen Gläsern. Weiter findet sich *Ṭâs-i- Sâ'at*, das als *Paimâne-i-Sâ'at*, d. h. Maßkrug der Stunde definiert wird.

m) Im folgenden sind einige kleinere Nachträge zu den früheren Ausführungen im Beitrag III enthalten.

Zu S. 255. Die auch von E. Basṣermann-Jordan erwähnten Uhren von Alfons X. von Castilien haben eine sehr eingehende Besprechung von Wegener (Die astronomischen Werke Alfons X. Bibl. Math. Bd. 6, S. 162. 1905) erfahren. Es sind fünf Uhren, eine Schattensteinuhr, Wasseruhr, Quecksilberuhr (vgl. S. 390 und S. 408), Kerzenuhr (eine abbrennende Kerze wird nach oben gegen ein festes Widerlager gepreßt und setzt bei der Bewegung andere Mechanismen in Gang), eine Uhr des Stundentempels (s. u.). Die erste und letzte Uhr sind Sonnenuhren. Soweit ich sehen kann, hat mit den mir bekannten arabischen Wasseruhren keine der Alfonsinischen Ähnlichkeit.

Zu S. 256. Das Werk von *Taqî al Dîn*, Die leuchtenden Sterne u. s. w., ist in Oxford noch erhalten (Kat. von Uri Bd. 1, S. 211, Nr. 968), der Kodex hat 60 Blätter. In drei Teilen ist gehandelt 1. Über die Sanduhren, 2. Über verschiedene Wasseruhren (clepshydra aquaria), 3. Über die Klepshydren, die mit Rädern, seien es eisernen, seien es bronzenen, versehen sind. Als Name des Autors ist angegeben *Al Qâḍî Taqî al Dîn* bekannt als *Efendî Damîât* u. s. f.

S. 257. Suter hatte früher *Banâdiq* als „Schleudersteine schleudern" übersetzt. Schlömlich, Z. S. Bd. 36, S. 126. 1893, übersetzt es jetzt mit „Kugeln werfen". Bei *Riḍwan* sind die Vögel Falken, bei C. de Vaux

Raben. S. 320 heißt der Vogel (*Ġurâb*) a. a. O. *Riḍwan* betont, daß die Kugeln glatt, poliert und rund sein müßten.

S. 257. Auch die Sonnenuhren werden für die zeitlichen und gleichen Stunden eingerichtet. *Al Bêrûnî* bespricht in seinem Werk *Kitâb al Istî'âb* (Werk der gründlichen Behandlung der möglichen Arten der Konstruktion des Astrolab) das Zeichnen der zeitlichen und gleichen Stunden auf dem Rücken des Astrolab (Ahlwardt Katalog Bd. 5, S. 230).

Zu S. 259. Die Beschreibung einer Uhr in Damaskus von *Benjamin von Tudela* α), der dort Mitte der sechziger Jahre des 12. Jahrhunderts war, lautet in der Ausgabe von *Asher* S. 84: Damaskus hat eine muhammedanische Synagoge, die die Synagoge von Damaskus heißt, sie ist unerreicht auf Erden. Man sagt, daß dies der Palast des *Ben Hadad* β) war. Eine der Wände war aus Glas durch Zauberkraft gebaut (so glaubt wenigstens der Verfasser). Diese Wand enthielt so viel Öffnungen, als Tage im Sonnenjahr sind, und die Sonne wirft nacheinander ihr Licht in die Öffnungen. Diese sind in zwölf Grade geteilt, gleich der Zahl der Stunden des Tages, und durch diese Anordnung kann ein jeder erfahren, welche Zeit es ist. Offenbar ist dies eine ganz andere Uhr, wie die von *Ibn Ġubair* beschriebene.

Benjamin von Tudela hat wohl die Beschreibung etwas ausgeschmückt. Zu vergleichen hierzu ist die Uhr des Stundentempels von *Alfons* (s. o.), diese ist ein Tempel mit 12 Fenstern, die auf der Südseite im Halbkreis angeordnet sind, und zwar so, daß die Sonnenstrahlen immer nur durch eines derselben in das Innere gelangen. Dort fallen sie auf einen mit Teilungen versehenen Fußboden und bilden den Zeiger einer Sonnenuhr.

Der von B. von Tudela gegebenen Schilderung entspricht ziemlich eine Stelle in *Qazwînî* (Bd. 2, S. 130).

Bei *Dendera* heißt es von einem Tempel (*Barbâ*) γ), daß er 180 Fenster hatte. Die Sonne tritt (scheint) an jedem Tage in ein neues, bis sie zum letzten gelangt ist, dann kehrt sie zu dem Orte zurück, von dem sie ausgegangen ist.

Diese von *Qazwînî* für *Dendera* gemachte Angabe ist wahrscheinlich entweder erfunden oder von einem anderen Orte auf *Dendera* übertragen. Wir kennen in *Dendera* keinen Rundtempel, solche widersprechen auch dem ägyptischen Tempelstyl, wo die Form des Grundplanes rechteckig zu sein hat. Ferner hat der ägyptische Tempel nur ganz wenige Fenster oder richtiger Lichtschachte im Dach oder an der Außenwand. Der erhaltene Tempel von *Dendera* macht davon keine Ausnahme. Daß je ein bisher unbekannter großer römischer Rundtempel in *Dendera* existierte,

---

α) The Itinerary of Benjamin of Tudela, ed. by A. Asher. London u. Berlin 1840 u. 1841.

β) Zu *Ben Hadad*, König von Damaskus, vgl. Protest. Realenzyklopädie, Bd. 7, S. 283. 3. Auflage.

γ) Über die den *Barbâ* zugeordneten Geister vgl. C. de Vaux, Livre des merveilles. Paris 1898.

auf den die Stelle paßte, erscheint im höchsten Grade unwahrscheinlich. (Mitteilung meines Bruders Prof. A. Wiedemann in Bonn.) Möglich wäre freilich, daß in nachklassischer Zeit dort eine solche Anlage sich fand.

S. 262. Die bei *Maqqarî* beschriebene Anordnung ist dem Werk eines älteren anonymen Geographen entnommen und ist von R. Basset publiziert (Estudios de erudicion oriental. Festschrift für D. F. Codera p. 629).

Zu beachten ist, daß in *Uzain*, das unter dem Äquator liegt, die Einrichtung viel leichter herzustellen ist als in Toledo, wo die Tageslänge wechselt.

S. 262. Über *Qubbat Uzain* (bezw. *Azîn*, woraus infolge des Fortfallens des diakritischen Punktes *Arîn* wurde, vgl. Nallino, *Al Battânî* S. 165). Durch diesen Ort, den die Inder *Ujjayinî* (ὀξηνη des *Ptolemaeus*) nannten, und der 75° 15′ 45″ E. Gr. 23° 11′ 10″ lat. N. liegt, ging der Meridian von *Lanka* (Ceylon), von dem die Indier annahmen, daß er den mittleren Erdmeridian darstellte. Der Schnittpunkt dieses Meridians und des Äquator hieß *Qubbat al Arḍ*; diese wird als Mitte der Erde auch in den *Mafâtiḥ* S. 218 bezeichnet.

Zu *Qubba al Arîn* vgl. auch Dozy Suppl. Bd. 2, S. 297b.

Die Wissenschaft der Kriegswerkzeuge[1]) behandelt, wie man die Kriegswerkzeuge, wie den *Maǵanîq*[2]) und andere als diesen, konstruiert. Ihr Nutzen ist sehr widerwärtig beim Zurücktreiben der Feinde[3]) und bei dem Schutz des Körpers. Von *Mûsà Ibn Schâkir*[4]) gibt es ein nützliches Buch darüber.

[1]) Da Ḥ. Ch. etwas ausführlicher (Bd. 1, S. 394) berichtet, so setzen wir seine Erörterung hierher:

Die Wissenschaft von den Kriegsmaschinen (Werkzeugen) behandelt die Art, wie die Kriegswerkzeuge zu konstruieren sind, wie der *Manǵaniq* und andere. Sie gehört zu den speziellen Teilen der Geometrie. Ihr Nutzen ist offenkundig. Diese Wissenschaft ist einer der Eckpfeiler, auf die die Sache des heiligen Krieges gegründet ist. Von den *Benû Mûsà Ibn Schâkir* ist ein nützliches Buch über diese Wissenschaft verfaßt, wie wenigstens in den *Mafâtiḥ al Sa'âda* steht. Es ist angemessen, dieser Wissenschaft diejenige des Bogenschießens und der Wurfgeschosse (*Bunduq*) beizufügen und darauf aufmerksam zu machen, daß das zu dieser Wissenschaft Gehörige in zwei Teile zerfällt, nämlich die Wissenschaft der Erfindung und Herstellung der Kriegsmaschinen und die Wissenschaft von ihrer Anwendung, und auch über diese gibt es Bücher. (Eine Wissenschaft vom Geschosseschleudern erwähnt Ḥ. Ch. ohne weitere Angabe Bd. 3, S. 481.)

[2]) Über den *Manǵanîq*, *Balliste*, wird später zu handeln sein; das Wort entspricht wohl dem Griechischen μηχανική nach Schramm und nicht μάγγανον.

[3]) Gemeint ist wohl, daß, wenn die Feinde mit dem *Manganîq* eine Festung angreifen, es sehr schwer ist, sie zurückzutreiben.

[4]) Es soll wohl heißen von den *Benû Mûsà Ibn Schâkir* vgl. Anm. 1.

Die Wissenschaft von den pneumatischen Maschinen[1]) behandelt, wie man die Apparate herstellt, die auf den Satz gegründet sind, daß das Vakuum nicht existiert, ferner das Dahingehörige von den Trinkgeräten (Instrumenten) und von anderen als ihnen. Ihr Nutzen besteht in der Schulung[2]) der Seele durch die wunderbare Konstruktion von diesen Geräten, wie von den Bechern (*Qadaḥ*) des rechten Maßes (*ʿAdl*) und des Übermaßes (*Ġaur*) und von dem Freilassen (*Sarḥ*) des Tropfers (*Qaṭṭâra*) und ähnlichem wie diesem. Das berühmteste Werk über diese Wissenschaft ist das berühmte Werk über die sinnreichen Anordnungen (*Ḥijal*) der *Benû Mûsà*. Darüber gibt es ein Kompendium von *Philon*[3]) und ein ausführliches Werk von *Badîʿ al Ġazarî*.

Und das sind die geometrischen Zweige[4]).

---

[1]) Die Stelle aus H. Ch. ist in Anmerkung 5 mitgeteilt. Eine Reihe von Angaben findet sich Beiträge III, S. 231, 233, 260. Über die einzelnen Gefäße etc. wird in einem späteren Beitrag, der einen Kommentar zu dem entsprechenden Kapitel der *Mafâtiḥ al ʿUlûm* enthält, gehandelt werden.

[2]) *Irtijâḍ* H. Ch. hat fälschlich *Irtijâḥ* Vergnügen.

[3]) Lies „*Filun*“ statt „*Fikun*“.

[4]) Dies bezieht sich auf die Einteilung unseres Buches.

[5]) Da der Artikel in H. Ch. Bd. 1, S. 400 ausführlicher ist, so teilen wir ihn ganz mit.

Wissenschaft von den pneumatischen Instrumenten. Ihre Konstruktion beruht auf dem Satz, daß ein leerer Raum nicht existiert. Zu ihnen gehört der Becher des richtigen Maßes und der Becher des Übermaßes. Der erste ist ein Gefäß mit der Eigenschaft, daß in ihm das Getränk bleibt, wenn man eine bestimmte Menge einfüllt. Gießt man aber ein ganz klein wenig mehr ein, so fließt das Wasser aus, und das Gefäß entleert sich, so daß kein Tropfen darin bleibt. Auch bei dem zweiten ist ein bestimmtes Maß festgelegt; wird das Wasser bis zu ihm, das klein ist, eingefüllt, so bleibt es in dem Gefäß und wenn es vollgefüllt wird, so bleibt es auch. Ist aber eine Menge Wassers, die zwischen diesen beiden Mengen gelegen ist, in dem Gefäß, so fließt das ganze Gefäß aus, da die Existenz eines Vakuums unmöglich ist *a*). *Abu'l Chair* sagt, daß derartiges zu einem Spezialgebiete der Geometrie gehört, falls es sich um die Bestimmung des Inhaltes des Gefäßes handelt, sonst aber zu den Spezialgebieten der Physik. Zu diesem Gegenstand gehört auch das Instrument *Dawarân al Sâʿât* (das Rad der Stunden).

(Das folgende im H. Ch. entspricht fast ganz den Ausführungen *Ansârî's*, auch werden dieselben Werke genannt.)

---

a) Dies Gefäß ist Heron Pn. S. 247 beschrieben, indes sind dort drei Röhren verwendet, während hier nur zwei in Betracht kommen.

2. Auszüge aus *Ibn Sînâ's* Teile der philosophischen Wissenschaften (mathematische Wissenschaften).

Wie schon Beiträge III, S. 221 erwähnt, gehen die Ausführungen von *Anṣârî* zum Teil auf ältere Darstellungen zurück, so findet sich in einer Sammlung von sieben Traktaten *Ibn Sînâ's* über die Wissenschaft und die Dinge der Natur ein Traktat (S. 71)[1]) über die Teile der philosophischen Wissenschaft; ihm sind die folgenden Ausführungen entnommen.

Die Grundteile der mathematischen Wissenschaft (*al Ḥikma al rijâḍîja*). Es sind deren vier: Die Lehre (*ʿIlm*) von der Zahl, die Geometrie, die Astronomie (*Haia*), die Musik.

Die Lehre von der Zahl behandelt die Arten der Zahl und die Eigentümlichkeiten einer jeden Art für sich und den Zustand der Ableitung der einen aus der anderen.

Die Geometrie behandelt die Lagen(beziehungen) der Linien, die Gestalten der Flächen und der Körper[a]), ferner die Verhältnisse aller von ihnen zu den Dimensionen (im Sinne von Länge, Breite und Höhe) von allen, aber nur insofern als es sich nur um Dimensionen handelt, sowie ihre Verhältnisse, die sie besitzen, insofern als sie Eigenschaften der Gestalten und Figuren sind[2]). Dies umfassen die Elemente des Werkes von *Euklid.*

Im Anschluß an die oben erwähnte Anschauung, daß es keinen leeren Raum gebe, ist von Interesse der folgende Satz über die Begründung der Methode der spez. Gewichtsbestimmung nach *Abu'l Raiḥân.* „Die theoretische Grundlage bildet nach *Jaḥjà al Bâzî* die Ansicht, daß es keinen leeren Raum gebe; da aber dieser Ansicht die strenggläubigen Sunniten widersprechen, soll man lieber die Versuche auf anderem nicht den Glaubenssätzen widerstreitendem Wege erklären." (Vgl. E. W., Wied. Ann. 20, S. 541. 1883.) Hierher gehörige eingehende Diskussionen sind in den oben S. 420 erwähnten *Kitâb al Masâîl* enthalten.

[a]) Die 5. Form von *Saṭaḥa* fehlt im Lexikon, nach dem Zusammenhang kann es nur die von Flächen begrenzten Gegenstände, d. h. die geometrischen Körper heißen.

[1]) Vgl. hierzu auch C. de Vaux, Notices et Extraits des manuscrits etc. Bd. 38, S. 37. Paris 1903.

[2]) Die letzten recht umständlichen Ausführungen sollen die Geometrie als eine allgemeine, von dem materiellen Substrat unabhängige Wissenschaft charakterisieren.

Die Astronomie[1]) behandelt die Beschaffenheit der Teile der Welt in ihren Gestalten und Stellungen, des einen neben dem anderen und ihre Größen und die Abstände zwischen ihnen und die Bewegungen, die den Sphären und die den Sternen zukommen, und die Ausmessung (*Taqdîr*) der Kugeln und der Schnitte (*Qutû'*) und der Kreise, auf denen die Bewegungen vollendet werden. Dies umfaßt das Buch des *Almagest*.

Die Musik behandelt die Beschaffenheit der Melodien und die Ursache für ihre Harmonie und Disharmonie .....[2]), bis zur Kenntnis der Musikinstrumente, und zwar alles mit Beweisen.

Die Musik wird in den *Mafâtîḥ al 'Ulûm* (S. 235) in 3 Abschnitten behandelt:

1. Über die Namen der Instrumente dieser Kunst und das, was sich daran anschließt.
2. Über die musikalischen Begriffe (*Ǵâmi'a*), die in den Werken der Gelehrten erwähnt werden.
3. Über die gebräuchlichen Rhythmen (*Îqâ'*).

Anṣârî hat über die Musik (S. 92) einen ausführlichen Artikel, auf den nur verwiesen sei; sehr ausführlich ist sie, außer in den Spezialwerken auch von den *Jchwân al Ṣafâ* behandelt (vgl. Dieterici, Die Propädeutik der Araber im 10. Jahrh. S. 100ff. Berlin 1865).

Die Zweigwissenschaften der mathematischen Wissenschaften. Zu den Zweigen der Zahl (Arithmetik) gehört die Anwendung der Addition und Subtraktion nach indischer Art[3]); die Anwendung von *al Ǵabr wa'l Muqâbala*[4]). Zu den Zweigen der Geometrie gehört die Lehre von der Ver-

---

[1]) Der ausführliche Artikel von *al Anṣârî* über Astronomie wird an anderer Stelle veröffentlicht werden.

[2]) Den Punkten entsprechen eine Reihe musiktechnischer Ausdrücke, deren Besprechung hier zu weit führen würde.

[3]) Es sind das Rechnungsmethoden der Inder, die auf den Prinzipien des Positionssystems beruhen (allgemeiner heißen sie *al Ḥisâb al hindî*, indischer Kalkül) (vgl. H. Hankel, Zur Geschichte der Mathematik, S. 256).

[4]) *al Ǵabr* (von *ǵabara* = herstellen, einrichten) bedeutet „das Ergänzen einer Negation" d. h. das Versetzen eines negativen Gliedes einer Gleichung auf die andere Seite; *al Muqâbala* (= oppositio Vergleichung) bedeutet die Vereinigung gleichartiger Glieder beider Seiten miteinander. Aus $x^2 + 3x - 3 = 5x$ z. B. geht durch *al Ǵabr* $x^2 + 3x = 5x + 3$, durch *al Muqâbala* hieraus $x^2 = 2x + 3$ hervor. (H. Hankel, a. a. O., S. 260.)

messung, den sich bewegenden Vorrichtungen[1]), dem Bewegen der Lasten, den Gewichten und Wagen[2]), sowie den Teilinstrumenten[3]), ferner von der Optik und den Spiegeln[4]) und die Lehre vom Fortführen (*Naql*) der Gewässer[5]).

Zu den Zweigen der Astronomie gehört die Herstellung der Tafeln (*Zîǵ*) und Ephemeriden (*Taqwîm*)[6]).

Zu den Zweigen der Musik gehört die Herstellung der wunderbaren, fremden Instrumente wie der Orgel[7]) und was ihr ähnlich ist.

Bei den fremden wunderbaren Musikinstrumenten denkt *Ibn Sînâ* wohl an solche, wie sie von *Heron* und *Philon* mehrfach beschrieben sind, an die ewige Flöte (Beiträge III, S. 261) ferner an Figuren, die nur in bestimmten Intervallen Töne geben, wie eine solche in der Schrift über die Uhr, die von *Archimedes* herrühren soll, behandelt ist (C. de Vaux, J. asiatique 8 ser. Bd. 17, S. 305. 1891) (vgl. auch oben S. 409).

Vielleicht schweben *Ibn Sînâ* auch Bäume mit singenden Vögeln vor,

---

[1]) Dies entspricht der Lehre von den Automaten, wie sich aus den *Mafâtîḥ* ergibt. *Al Anṣârî* erwähnt sie nicht.

[2]) H. Chalfa (Bd. 1, S. 493) hat einen Abschnitt, „Lehre von den Gewichten und Maßen, die in der Medizin angewandt werden, z. B. die Drachme und die Unze und das *Raṭl* und andere. Darüber gibt es lange und kurze Bücher, welche die, die sie brauchen, kennen“ . . . . . .

Eine Liste solcher Gewichte enthalten z. B. die *Mafâtîḥ* S. 14 und 178; ferner findet sich eine Zusammenstellung am Schluß des Kanon von *Ibn Sînâ*, die J. Hirschberg und J. Lippert mitteilen. (Die Augenheilkunde des *Ibn Sînâ* S. 173; vgl. auch Beiträge II S. 325.) Bei den Alchemisten gebräuchliche finden sich bei M. Berthelot La Chimie au Moyen Âge, Bd. 2, S. 153. Weitere zahlreiche Angaben teilen die arabischen Geographen mit.

[3]) *ʿIlm Âlât al Ǵusîja.* C. de Vaux übersetzt die Wissenschaft der Instrumente der Teilung mit Metrologie.

[4]) Nicht der Fernrohre, wie C. de Vaux will.

[5]) Von einem *Naql* der Gewässer ist S. 396 die Rede, ob diese mit der *ʿIlm Inbâṭ al Mijâh* S. 407 identisch ist, ist nicht zu sehen. Zu der Frage vgl. z. B. Beiträge III, S. 230 ff. Ob der in einzelnen Handschriften für das Werk Philons de ingeniis spiritualibus vorkommende Titel de conductibus aquarum etc. auf Wasserleitungen etc. hinweist, muß dahingestellt bleiben. (Vgl. V. Rose, Anecdota, Bd. 2, S. 297.) Bei den Arabern spielten diese jedenfalls eine außerordentlich große Rolle.

[6]) *Taqwîm* sind auch geographische Tabellen mit Ortsbestimmungen, wie der Titel des Werkes von *Abu'l Fidâ* lehrt.

[7]) Im Text steht *Urǵul*, ist wohl nur verschrieben statt *Urǵun* = Orgel. Über die Orgel vgl. Beitrag VI, S. 3.

wie ein solcher sich in *Konstantinopel* und in *Baġdâd* befand, wobei der letztere wohl dem ersteren nachgebildet ist.

Von letzterem handelt *al Chaṭîb al Baġdâdî* a) (Brockelmann Bd. 1, S. 329) gelegentlich der Besprechung der Audienz, die den Gesandten des Kaisers *Constantin Porphyrogenitus* (912—959 n. Chr.) von *al Muqtadir* (908—932) im Jahre 305 d. H. (917 n. Chr.) gewährt wurde. Er sagt:

Unter den berühmtesten Gebäuden, die *al Muqtadir* errichtet hatte, war der Palast des Baumes (*Dâr al Schaǵara*), genannt nach einem Silberbaume, der sich in der Mitte befand, umgeben von einem großen kreisförmigen, mit Wasser gefüllten Becken. Der Baum hatte 18 Äste, jeder Ast zahlreiche Zweige, auf denen mannigfaltige Arten mechanischer Vögel aus Gold und Silber, groß und klein saßen. Die meisten Zweige waren aus Silber, aber einige aus Gold, die Blätter von verschiedener Farbe hatten, sie breiteten sich in der Luft aus; blies der Wind, so bewegten sich die Blätter, während die Vögel durch einen verborgenen Mechanismus pfiffen und sangen.

Abu'l Fidâ (Annales muslimici ed. Reiske Bd. 2, S. 333) berichtet ebenfalls von dem Baume und sagt, die Zweige neigten sich nach festgesetzten Bewegungen und die Vögel pfiffen (sangen) nach geregelten Bewegungen (Rhythmen).

Eine andere Beschreibung[1]), die aber ganz ähnlich lautet, ist folgende: Palast des Baumes. Ein Palast in dem großen Chalifenquartier in *Baġdâd*, gebaut von *al Muqtadir billâhi*. Es war ein geräumiger Palast mit prächtigen Gärten, und man nannte ihn so wegen eines aus Gold und Silber gearbeiteten Baumes, der dort in der Mitte eines großen Beckens vor dem Balkon neben den übrigen Bäumen des Gartens stand. Er hatte zwölf Äste aus Gold und Silber; jeder hatte zahlreiche Zweige, die mit verschiedenartigen Edelsteinen in Gestalt von Früchten geschmückt waren. Auf den Ästen waren mancherlei goldene und silberne Vögel, die, wenn ein Lufthauch vorüberging (sie anblies), in wunderbarer Weise Pfeifen und Zwitschern ertönen ließen.

Über die Werke in Konstantinopel berichtet *Schnaase*β). Zur Zeit des *Theophilus* (829—842) fanden sich in Byzanz Werke von hoher Vollendung, die zum Teil von einem Mathematiker Leo hergestellt waren. Dahin gehörten Feuertelegraphen, Uhren, die den Lauf der Zeit in den verschiedenen Gegenden des Reiches bestimmen sollten, Orgeln, deren Ton

---

a) G. Le Strange, *Baġdâd*, S. 256. J. Roy. Asiat. Soc. 1897, S. 42.

β) Schnaase, Geschichte der bildenden Künste, 2. Aufl., Bd. 3, S. 173. 1869. Labarte, Palais impérial S. 85. Paris 1861. Constantinus Porph., De ceremoniis etc. ed. Reiske Lib. II, cap. 15, S. 569 u. Reiske Commentar, S. 642. Bonn 1829 u. 1830.

[1]) *Jâqût*, Bd. 2, S. 520 (ich bin im wesentlichen der Übersetzung von S. Fränkel bei A. Schultz, Das höfische Leben der Minnesänger. 2. Auflage, S. 99. Leipzig 1889 gefolgt; fast wörtlich ebenso hat *Qazwini* Bd. 1, S. 210 die Beschreibung; nach von Kremer, Kulturgeschichte Bd. 2, S. 83 findet sich bei *Taġribardî* Bd. 2, S. 202 eine solche.

die Schriftsteller rühmen. Auf einer goldenen Platane sangen durch die Wirkung eines geistreichen Mechanismus Vögel, an seinem Fuß brüllten Löwen, und der Sessel des Kaisers konnte durch Federn gehoben werden. Ebenso ließen einzeln aufgestellte Vögel einen Gesang ertönen. —

Der Sohn von Theophilus, *Michael*, ließ den Baum mit den Vögeln, die beiden Löwen und die Orgeln einschmelzen; sein Nachfolger stellte sie aber wieder her und von dieser zweiten Ausführung berichtet der oben erwähnte Kaiser Konstantin, ohne aber etwas über die Konstruktion anzugeben.

Solche Bäume werden dann oft beschrieben und kommen in Märchen und Sagen vor.

Von einem blasenden Engel auf einem Baum in *Caracarum* 1253 berichtet *G. de Rubruquis* (vgl. A. Schultz, S. 98).

Von allerlei singenden Vögeln zur Zeit der Minnesänger handelt *A. Schultz* a. a. O. S. 96ff. Die Luft wurde aber nicht durch Wasserdruck, sondern durch Blasbälge bewegt. Eine Abbildung von 6 Vögeln auf Zweigen und entsprechenden Blasbälgen, die aber nicht wie bei uns die Einsaugsöffnung an der Seite, sondern am Ende haben, findet sich ebenda.

3. Auszüge aus dem Abschnitte über Naturwissenschaften[1]) von *Ibn Sînâ* und *al Anṣârî*.

Ibn Sînâ und *Anṣarî* behandeln in einem besonderen Abschnitt die Physik (bei *Ibn Sînâ* heißt sie *al Ḥikma al ṭabîʿija*, bei *Ansârî ʿIlm al Ṭabîʿî*). Wir wollen einiges daraus mitteilen.

---

[1]) In den *Mafâtiḥ* (S. 133) findet sich folgender Absatz über die Einteilung der Naturwissenschaften und der mathematischen Wissenschaften.

Die Naturwissenschaften. Zu ihren Teilen gehört die Medizin und die Lehre von den oberen Phänomenen (Zeichen in der Höhe), nämlich den Regenarten, den Winden, den Donnerschlägen, den Blitzen und ähnlichem und die Lehre von den Mineralien, den Pflanzen, den Tieren und der Natur von jedem Ding, das sich unterhalb der Mondsphäre befindet. Die Kunst der Chemie gehört zu ihren Teilen, da sie die mineralischen Substanzen untersucht.

Die mathematische und exakte Wissenschaft (*taʿlîmî* und *rijâḍi*). Sie zerfällt in vier Teile. Der erste ist die Lehre von der Arithmetik, das ist die Lehre von der Zahl und der Rechnung, der zweite ist die Geometrie, das ist die Lehre von der *Handasa*, der dritte ist die Astronomie, das ist die Lehre von den Gestirnen, der vierte ist die Lehre von der Musik, das ist die Lehre von den Klängen.

Die Lehre von den *Ḥijal* (Mechanik vgl. Beitrag VI), es ist dies eine Wissenschaft, die weder zu diesen vier Wissenschaften, noch zu einer anderen gehört.

Die Naturwissenschaft wird zunächst in acht Teile zerlegt, an die sich dann eine Reihe von Zweigwissenschaften anschließen.

Bei *al Anṣârî* heißt es: Abhandlung über die Physik. Sie ist eine Wissenschaft, in der man die Zustände des fühlbaren Körpers erforscht, insofern er einer Veränderung unterworfen ist oder nicht. In dieser Hinsicht ist der Körper ihr Objekt Man hat sie in acht Teile geteilt: 1. Physik, 2. Himmel und Welt, 3. Entstehen und Vergehen, 4. die Phänomene in der Höhe (hier die Meteorologie), 5. die Mineralogie [1]), 6. die Pflanzen [1]), 7. die Tiere [1]), 8. der Empfindende und das Empfundene (Psychologie) [2]).

Ganz dieselbe Einteilung gibt *Ibn Sînâ* [3]).

Von der Physik leitet sich eine Reihe von Zweigwissenschaften ab. Von solchen führt *Ibn Sînâ* sieben auf: Medizin, Vorhersagung aus den Sternen (Astrologie), Physiognomik [4]), Auslegungswissenschaft [5]), Lehre von den Talismanen, diejenige von den Bezauberungen (Magie *Nîranǵîjât* [6]) und Chemie.

Anṣârî führt zehn abgeleitete Wissenschaften auf, nämlich außer den oben genannten Tierheilkunde (*Baiṭara*), Lehre von

---

[1]) Es stehen sich gegenüber die anorganischen harten Geschöpfe (*ǵâmid*), die Pflanzen (wachsende (*nâmi*) Geschöpfe ohne Empfindung), die Tiere (wachsende Geschöpfe mit Empfindung und Bewegung).

[2]) An die Behandlung der Psychologie schließen sich bei *Anṣâri* zunächst allgemeine Betrachtungen an, so heißt es beim Nutzen dieser Wissenschaften, daß man kennen lernt die wundersamen Erscheinungen infolge der Mischung der Elemente, wie die Anziehung des Magnetsteines auf das Eisen.

[3]) *Ibn Sinâ* gibt an, daß er behandelt habe den vierten Teil in den ersten drei Büchern, die Pflanzen im vierten, die Mineralien im fünften Buch über die oberen Phänomen, die Tiere in dem Werk über die Naturen der Tiere, den 8. Teil in dem Werk über die Seele, den Sinn und das Empfundene.

[4]) Sie ist sehr ausführlich bei H. Ch. Bd. 4, S. 388 besprochen. Nach dieser Stelle haben sich *Aristoteles* und *Râzî* sehr eingehend mit ihr befaßt.

[5]) H. Ch. Bd. 2, S. 310 hat auch einen ausführlichen, aber ganz anders gefaßten Artikel. (Dort heißt es *'Ilm Ta'bîr el Rûjâ* Wissenschaft von der Deutung des Traumgesichtes.)

[6]) Flügel übersetzt *'Ilm al Nîranǵîjât* (H. Ch. Bd. 6, S. 412) als Lehre von der gegenseitigen Verbindung der wirkenden und bewirkten Kräfte, durch die die Bezauberungen bewirkt werden.

der *Baizara*[1]) d. h. Lehre von der Heilkunde der wilden Jagdvögel. An Stelle der Auslegekunst und der Lehre von den *Nîrangîjât* tritt die Lehre von der Magie (*Saḥr*) und der natürlichen Magie (*Sîmîjâ*). Diese haben hier für uns kein Interesse, daher soll auch auf ihre Abgrenzung nicht eingegangen werden. Dagegen wäre wohl einmal zu untersuchen, wie sich die einzelnen großen Naturforscher zu diesen Fragen gestellt haben, von denen z. B. *Abu'l Raiḥân al Bêrûnî*[2]) sie behandelt hat.

Die drei ersten Teile der Naturwissenschaften, Physik (die im aristotelischen Sinn genommen ist) Himmel und Welt, Entstehen und Vergehen haben nur philosophisches Interesse[3]).

Der vierte Teil. Über die oberen Phänomene[4]). In ihm werden die Eigenschaften der Elemente vor ihrer Mischung auseinandergesetzt und das, was ihnen zustößt, falls sie erschüttert

---

[1]) Die Lehre von *al Baiṭara* und *al Baizara* sind von *Anṣârî* in einem Abschnitt zusammen behandelt (S. 70); aus ihm und aus H. Ch. Bd. 2, S. 83 u. 84 geht hervor, daß es sich um Tierheilkunde handelt, und zwar der Pferde (*Chail*) und der zur Jagd dienenden Raubvögel (*Ǵârîḥa*, Raubtier). Als ein Werk über beide Gegenstände wird das von *Ibn al ʿAuwâm* bezeichnet; dort sind aber, wenigstens in der Ausgabe von Clement-Mullet, die Krankheiten der Pferde und des Hausgeflügels, aber nicht diejenigen wilder Tiere behandelt.

[2]) Von *Abu'l Raiḥân al Bêrûnî* (H. Ch. Bd. 4, S. 186) stammt ein Werk mit folgendem Titel: Natürliche Wunder und künstliche Raritäten, über die Beschwörungen, die *Nîrangîjât* und die Talismane, durch die man das Sichere in den Herzen der Kenner ermittelt, und durch die aufhört der Zweifel bei den Zweifelnden.

[3]) In diesem Sinne dürften wohl auch die folgenden Abhandlungen *al Kindîs* verfaßt sein: Über die fallenden (*hâbiṭ*) Körper (Sut. Übers. S. 14, Flügel übersetzt untersinkenden) und Über die aus der Höhe herabfallenden Körper und die raschere Bewegung des einen vor dem anderen. (Fihrist S. 261).

[4]) Zu diesem Abschnitt gehören folgende Artikel von *H. Chalfa*.

Die Lehre von den oberen und unteren Phänomenen (*Âṯâr*) (H. Ch. Bd. 1, S. 154) ist die Lehre, welche die zusammengesetzten Körper, die kein bestimmtes Temperament (*Mizâǵ*) haben, behandelt und die Gründe ihrer Entstehung kennen lehrt. Es gibt drei Arten, denn sie entstehen entweder oberhalb der Erde, nämlich in der Luft, und dies sind die Akzidentien der Luft [die meteorologischen Erscheinungen], oder auf der Erdoberfläche, wie die Steine und die Berge, oder in der Erde, wie die Mineralien. Die Gelehrten haben darüber Werke verfaßt, zu ihnen gehört das Buch des Himmels und der Welt [von Aristoteles].

werden und sich verdichten und infolge verschiedener Arten von Bewegung unter dem Einfluß himmlischer Erscheinungen auf sie. Ferner die Erscheinungen (*Kâin*) in der Substanz (*Gauhar*) wie das Gewölk, der Donner, die Regenarten, der Blitz, der Halo, der Regenbogen, Unwetterkatastrophen (*Ṣâ'iqa*), die Sternschnuppen, [seltsame] Zeichen [am Himmel] (*'Alâma*), ferner die Erscheinungen über der Erde, die aus ihnen hervorgehen, wie der Schnee, der Hagel, der Tau, der Blitzschlag (*Ṣa'iq* so!), die Winde, der Nebel und die Flut und Ebbe, weiter die Ereignisse unter der Erde, die aus ihnen hervorgehen, wie das Erdbeben, der Erdstoß und das Versinken (*Chasf.*).

Der fünfte Teil. Die Mineralien. In ihm werden behandelt die Zustände der anorganischen Dinge (Geschöpfe) wie die Metalle, die kostbaren Steine (Edelsteine) u. s. w., wie die Vitriole, *al Ṭabûta*), die Salze, die Schwefel- und Auripigment (*Zarnîch*)-arten und das Quecksilber und wie sie entstehen.

Von der Meteorologie[1]) im engeren Sinne des Wortes handelt bei H. Ch. folgender Abschnitt.

Diese Lehre untersucht die Natur des Regen, der Schneefälle und des Blitzes und des Donners und ähnlicher Erscheinungen, ferner untersucht sie, warum sie in einzelnen Ländern und nicht in anderen auftreten, warum sie zu gewissen Zeiten und nicht zu anderen beobachtet werden, und den Grund für den Nutzen einiger von ihnen und für den Schaden von anderen, sowie anderes, was hierher gehört.

Die Lehre von dem Regenbogen (*Qaus al Quzaḥ*), (H. Ch. Bd. 4, S. 581) forscht nach der Art seines Entstehens und dem Grund für sein Entstehen und seine Kreisgestalt und seine verschiedenen Farben und sein Auftreten nach dem Regen und an den Enden des Tages (d. h. am Morgen und am Abend) und ferner, warum er bei Tage häufig, im Mondlicht in der Nacht aber nur hin und wieder sich zeigt, sie forscht ferner nach den Regeln für sein Auftreten in der Welt des Entstehens und Vergehens sowie nach anderem hierher gehörigen.

---

a) Statt *Ṭabûb* ist zu lesen *Schabûb*. Die Form *Schabûb* für den Alaun als eines Minerals von Spanien kommt auch bei *al Maqqarî* (*Lerchundi y Simonet*, Crestomatia S. 20) vor und ebenso bei *Qazwînî* Bd. 2, S. 338. Gewöhnlich heißt der Alaun *Schabb*.

[1]) Als Überschrift steht Lehre vom Entstehen (*Kaun*) und Verderben (*Fasâd*). Dies wird irrtümlich sowohl Bd. 1, S. 34 als auch Bd. 5, S. 265, wo unsere Stelle herstammt, mit Meteorologie übersetzt. Wahrscheinlich ist etwas ausgefallen, da sich bei *Aristoteles* nach den Arabern (vgl. die Selbstbiographie *Ibn al Haiṭam*) die Meteorologie an die Schrift über das Entstehen und Vergehen anschloß.

Von ihr spricht *Abu'l Chair*, und er rechnet sie zu den Naturwissenschaften.

Eingehend behandelt *Qazwînî* den Regenbogen und seine Theorie (arab. Text Bd. 1, S. 98 ff. und Übersetzung S. 201). Dort sind auch Regenbogen im Bade beschrieben sowie solche, die auf einer Wolke unterhalb des Beobachters, der auf einem Berge steht, erscheinen, und zwar nach Beobachtungen von *Ibn Sînâ* (*al Scheich al Raîs*). *Qazwînî* ersetzt bei seinen Betrachtungen die Regentropfen durch kleine Spiegel; viel richtiger ist die Entwicklung von *Ibn al Haiṭam* (vgl. E. Wiedemann, Wied. Ann. Bd. 39, S. 575. 1890), der eine einmalige bezw. zweimalige Reflexion des Lichtes in Kugeln annimmt.

Den Phänomenen in der Höhe ist eine ausführliche Abhandlung der *Ichwân al Ṣafâ* gewidmet (vgl. F. Dieterici, Die Naturanschauung etc. S. 66. Leipzig 1876).

Die Schriften der Araber über die Meteorologie u. s. f. schließen sich zum großen Teil an die entsprechenden Werke des *Aristoteles* an, sie bilden Kommentare und Ergänzungen desselben. In bezug auf diese sei auf Steinschneider, Phil. § 29, S. 55 ff. verwiesen. Die Titel einiger anderer sind:

al Abâḥḥ, Über den Regen (Suter, Math. S. 9).

Sahl Ibn Bischr, Über Regen und Wind (Suter, Math. S. 15).

Aḥmad Ibn al Ṭaijib, Über die Altweiberkälte und das Wesen des Nebels. (Suter, Math. S. 33.)

Sehr zahlreich sind die Schriften von *al Kindî* über diese Gegenstände (vgl. Suter, Übersetzungen S. 14 und Math. S. 23 und Nachträge S. 161). Ihre Titel mögen zeigen, womit man sich alles beschäftigte:

Über die Ursache, weshalb die obere Luftschicht kalt, die näher an der Erde befindliche warm ist. Über die Lufterscheinungen. Über die glänzende Erscheinung, welche sich in der Luft zeigt und Stern (bedeutet hier wohl Sternschnuppe oder Meteor) genannt wird. Über den Kometen. Über den Stern, welcher für einige Tage erschien und beobachtet wurde, bis er verschwand. Über die Ursache der Kälte, die man Altweiberkälte nennt. Über die Ursache des Entstehens des Nebels und der von ihm während seiner Dauer hervorgebrachten Erscheinungen. Über die Beobachtung des im Jahre 222 d. H. erfolgten großen Phänomen (vielleicht Komet oder Meteor). Über die beiden im (am) Wasser wahrzunehmenden Phänomene (Ebbe und Flut). Über Ebbe und Flut (Oxford Katalog Bd. 1, Nr. 877). Über die Entstehung der Dünste im Innern der Erde, welche viele Erdbeben und Einstürze erzeugen. Über die Ursache des Donners, des Blitzes, des Schnees, des Hagels, der Donnerschläge und des Regens. Über die Ursache der lasurblauen (*azwardî* = von der Farbe des Lapis lazuli) Farbe, welche man in der Luft in der Oberfläche des Himmels sieht (Oxford Kat. Bd. 1, Nr. 877). (Im Fihrist heißt der Titel: Über das Wesen der Himmelssphäre und der ihr eigenen lasurblauen Farbe, welche in der Oberfläche des Himmels wahrgenommen wird.) Über die Ursache der Höfe um Sonne, Mond und Sterne. Über Regen und Wind

und die Veränderungen der Luft (Oxford Bd. 2, P. 1, Nr. 6784; gedruckt Venedig 1507).

Ferner finden wir in den verschiedenen Kosmographien und in dem Werk der *Ichwân al Ṣafâ* (Dieterici, Die Naturanschauungen etc.) zahlreiche Betrachtungen über diese Gegenstände.

Erwähnt wird *Epaphroditos* (*Aṭâfrûdiṭos*), von *Jaḥjà Ibn ʿAdi*, der ihm ein Werk über die Meteorologie zuschreibt, das einen Kommentar zu der Abhandlung des Aristoteles über den Regenbogen bildet. Es wurde übersetzt von *Ṯâbit Ibn Qurra* (*Qifṭi* S. 59. Suter, Bibl. math. (3) Bd. 4, S. 294. 1903).

Ein Versuch, um künstlich einen Regenbogen herzustellen, ist in dem Beiträge IV, S. 389 besprochenen Zauberbüchlein S. 78 beschrieben: „Wie man etwas dem Regenbogen Ähnliches erscheinen läßt. Dazu füllst Du Deinen Mund mit Wasser und stellst Dich in die Türe oder in das Fenster eines Zimmers, durch die das Sonnenlicht in letzteres eindringt; dabei stellst Du Dich mit dem Rücken nach den Sonnenstrahlen. Dann bläst Du jenes Wasser in einem Spritzregen aus, so daß das Licht der Sonne darauf fällt. Dann erscheint dem Beschauer ein gekrümmter Bogen, ähnlich dem Bogen auf der Wolke."

Sehr eingehend sind die Erscheinungen am Himmel und deren Beziehungen zu dem Wetter in der Schrift über Agrikultur von *Ibn al ʿAuwâm* (Übersetzung von Cl. Mullet Bd. 2, S. 435) besprochen. Dabei bezieht der Verfasser sich vielfach auf die nabatäische Landwirtschaft von *Ibn al Waḥschîja* (Brockelmann Bd. 1, 242, wo die weitere Literatur zu finden), der etwa um 900 lebte. Wenn auch dessen Angabe, daß er sein Wissen altbabylonischen Quellen verdankt, eitel Schwindel ist, so haben doch seine Notizen selbst Wert, da sie Kenntnisse seiner Zeit darstellen; vgl. o. S. 407. Als Autoren zitiert *Ibn al ʿAuwâm* ferner *Costus* (Wenrich S. 291, Steinschneider, Phil. § 6 [30], S. 12,) ferner *Cassius* und *Cassianus* und von Arabern *Ibn Qutaiba*.

Über den Regenbogen in astronomischer und astrologischer Beziehung handeln zwei Texte in Berlin (Nr. 5906, 1 und 5915, 2). In dem ersten heißt es z. B. bei dem Zeichen des Widders, das im Osten steht, wenn dort ein Regenbogen erscheint, so weist er auf Pest, Krankheit und Tod. In der letzteren heißt es beim September: erscheint in ihm ein Regenbogen, so weist dies auf große Tyrannei und Unterdrückung.

Ganz besonders erregten die Fragen über die Erdbeben und über Flut und Ebbe das Interesse der Araber. Nach *Aristoteles* beruhen bekanntlich die Erdbeben auf Dämpfen, die im Erdinnern eingeschlossen sind. *Anthemius* vertrat z. B. diese Ansicht, und da er seinen redegewandten Nachbarn (*Zeno*) (n. Chr. 557) nicht mit Worten widerlegen konnte, so erschütterte er durch austretenden Dampf dessen Haus (*Agathias* hist. libri qinque S. 289. Bonn 1828).

Einen längeren Abschnitt über Erdbeben hat *al Dimaschqi* (Text S. 57, Übers. S. 63); nach ihm sollen sie von Dämpfen herrühren, die sich im Erdinnern unter dem Einfluß der Sonne bilden; er vergleicht diese rätsel-

hafte Wirkung mit derjenigen des Mondes auf Flut und Ebbe. Durch die Bewegungen der Dämpfe entstehen die Erdbeben. Er fährt dann etwa fort: Sind die oberflächlichen Schichten dicht, so bleiben die Dämpfe kochend in der Erde. Ist die Substanz in dieser Gegend schwefelhaltig, so verwandelt sich jeder einzelne Teil in diesem Fall in Feuer und entzündet sie. Man sieht von ihnen Feuer, welches Tag und Nacht Funken sprüht, und man nennt dies einen Vulkan (*Burkân*). Solche gibt es an vielen Orten. — (Des Aetna wird von den arabischen Reisenden z. B. bei der Besprechung von Messina Erwähnung getan.)

Über die Liparischen Inseln und die dortigen vulkanischen Eruptionen berichtet *Ibn Ǵubair* (ed. Wright S. 331, Amari J. asiat. [4] Bd. 6, S. 513 u. 544. 1845). Ein ununterbrochenes Feuer tritt aus zweien dieser Inseln; denn wir beobachteten zunächst den Rauch, der aus ihnen hervortrat, und bei Einbruch der Nacht sahen wir eine in die Luft sich zungenförmig erhebende Flamme. Es ist dies die Wirkung des Vulkans, den alle Welt kennt, und wir erfuhren, daß die Flamme aus Luftlöchern (*Manfas*) dieser beiden Berge heraustritt, durch die sich mit großer Kraft ein feuriger Luftstrom (*Nafs*) erhebt, der die Flamme erzeugt. In der Mitte des Luftstromes steigt oft ein großer Stein empor, der durch die Gewalt des feurigen Luftstromes fortgeführt wird; dieser hindert in gleicher Weise, daß er an Ort und Stelle bleibt und daß er auf den Boden zu fällt.

Über die Ursache von Flut und Ebbe sind von den Arabern folgende Anschauungen entwickelt worden: Ein Engel setzt abwechselnd einen Fuß in das Meer und hebt ihn heraus, Fische oder andere Wesen schlürfen das Wasser ein und stoßen es aus (*al Ǵâḥiz* Tria opuscula ed. van Vloten S. 148 und *Ibn al Faqîh* S. 9), oder es findet durch den Mond ein Anziehen und Loslassen statt (*al Ǵâḥiz* a. a. O.), oder die Strahlen des Mondes dringen in das Meer, werden an den Steinen reflektiert und erwärmen es dann (*Qazwînî* Text S. 103, Übersetzung S. 212).

Die Stelle bei *al Ǵâḥiz* lautet folgendermaßen: Und [berichte mir] was Du sagst über Ebbe und Flut[1]), ob sie von einem Engel herrühren, der seinen Fuß niedersetzt und aufhebt, und wenn dies der Fall ist, so ist vielleicht auch der Leiter der Sphäre (d. h. derjenige, der die Bewegung der Gestirne bewirkt) ein Engel und vielleicht ist der Schall des Donners der Schall das Stöhnen des Engels. Dann legen wir die Philosophen (d. h. deren Ansicht) beiseite und halten uns an das, was die große Menge sagt. Oder behaupten wir, daß die Flut und Ebbe von dem Atem der Einschlürfenden herrührt, wenn er herabgesogen und emporgehoben wird. Und [sage mir] was Du sagst über die Ansicht derer, die behaupten, daß der Mond wässerig ist und die Sterne ihrer Natur nach der Erde ähnlich sind, so daß die Flut und Ebbe nur dem Maß seiner (des Mondes) Anziehung und Abstoßung auf das Wasser entspricht. Dies

[1]) Ein Brief von *al Kindi* über Flut und Ebbe ist in Oxford (Bodl. Cod. 877) erhalten. Weiter hat diese Frage *Ḥunain* (Suter S. 43) behandelt.

ist an den Orten, von denen das Wasser herabfließt und zu denen es hinfließt, bekannt. Es kennen es die Leute, die bei der Ebbe und Flut wohnen.

Ibn al Faqîh spricht sich folgendermaßen aus: *Ibn 'Abbâs* (ein Vetter des Propheten *Muḥammad*, auf den viele Traditionen zurückgehen), nach Flut und Ebbe gefragt, sagte, daß ein Engel über das Meer gesetzt sei; wenn er seinen Fuß hinein setzt, so strömt es über, und wenn er ihn aufhebt, so nimmt es ab. *Ka'b* (ein jüdischer Gelehrter der ältesten muhammedanischen Zeit) erzählt, es begegnete *al Chaḍir* (der ewig junge) einem Engel und frug ihn nach Ebbe und Flut, und der Engel sagte: Ein Fisch schöpft tief Atem und trinkt das Wasser und hebt es bis zu seinem Nasenloch, das ist die Ebbe, dann atmet er und läßt es aus seinem Nasenloch austreten, und das ist die Flut.

Die Erzählung vom Engel hat *Muḥammad* in dem *Qurân* aufgenommen.

Von den Zweigwissenschaften seien nur einige etwas näher behandelt.

Von der Medizin sagt *Ibn Sînâ*: Ihr Ziel ist die Erkenntnis der Prinzipien des menschlichen Körpers und seine Zustände in Gesundheit und Krankheit und deren Ursachen und Anzeichen, um die Krankheiten zu vertreiben und die Gesundheit zu bewirken. Weiter heißt es:

Die Wissenschaft *al Kìmîjâ*[1]). Ihr Ziel ist den natürlichen (in den Gruben gefundenen) Edelsteinen (Mineralien, Metallen

---

[1]) Bei *Anṣâri* heißt es (S. 76): Die Chemie ist eine Wissenschaft, bei der man den natürlichen Edelsteinen ihre Eigenschaften nehmen will und ihnen Eigenschaften verleihen, die sie nicht hatten. Das Vertrauen zu ihr (d. h. auf ihre Ausführbarkeit) stützt sich auf die Überzeugung, daß alle Metalle (Erze *Filizzât*) nahe verwandt sind und daß der sichtbare Unterschied zwischen ihnen nur accidentelle Dinge betrifft. (Vgl. hierzu Beitrag I in diesen Berichten Bd. 34, S. 45. 1902 und Beitrag II, S. 345.) Den ziemlich ausführlichen Artikel bei *Anṣâri* werde ich gelegentlich mitteilen.

Sehr ausführlich ist von H. Ch. Bd. 5, S. 270 die Alchemie behandelt; in der Einleitung sind die Gründe, die für und gegen die Möglichkeit der Metallverwandlung angeführt sind, eingehend erörtert; dabei wird auch eine noch zu edierende Schrift von *al Fârâbi* zitiert.

Die Definitionen der Wissenschaften von den Talismanen und den Bezauberungen, die sich an die der Chemie anschließen, lauten bei *Ibn Sinâ*:

Diese Wissenschaft von den Talismanen hat als Ziel, die himmlische Kraft mit der Kraft irgendwelcher irdischer Körper zu ver-

Ġawâhir) ihre Eigenschaften zu rauben und ihnen diejenigen anderer mitzuteilen, und zwar einigen von ihnen die Eigenschaften von einigen, um zu der Erzielung von Gold und Silber und anderen Metallen zu gelangen.

Eigentümlich ist, daß *Ibn Sinâ*, der doch sonst ein Gegner der Alchemie ist, keine entsprechende einschränkende Bemerkung macht; die Astrologie bezeichnet er als eine mutmaßende Wissenschaft. Seine Polemik gegen die Alchemie findet sich in den Prolegomenen zu seinem Werk *al Schifâ*.

4. Biographien griechischer Gelehrter.

Im folgenden soll noch eine Reihe von Biographien griechischer Mathematiker u. s. w. aus *al Jaʿqûbî*, *Ibn al Qifṭî* und *Qazwînî* mitgeteilt werden, aus denen wir ersehen, wie intensiv sich die Araber mit den Persönlichkeiten der großen Griechen befaßten. Dabei ist es in mancher Hinsicht gleichgültig, ob die eine oder andere Bemerkung Tatsächlichem entspricht, denn für den Einfluß eines Mannes auf spätere Generationen ist es oft weniger wichtig, wie er wirklich war, als wie er nach der Vorstellung des späteren Geschlechtes gewesen ist.

---

mischen, um sich dadurch eine Kraft zu werben, die eine wundersame Wirkung auf die Welt der Erde ausübt.

Die Wissenschaft *al Niranǧîjât* (der Bezauberung, der Magie) hat als Ziel, die Kräfte in den Substanzen der irdischen Welt zu mischen, um aus ihnen eine Kraft zu gewinnen, von der eine wundersame Wirkung resultiert.

In den Schriften über dieses Gebiet werden auch Fragen über die Entstehung der Metalle aus ihren Elementen und ähnliches behandelt. Solche Angaben zitiert z. B. *al Dimaschqî* (Text S. 55 und 78, Übersetzung S. 61 und 91) aus der Schrift von *Ibn al Waḥschîja*, „Das Werk der Geheimnisse der Sonne und des Mondes“ *a*), der aus den im Erdinnern sich kondensierenden Flüssigkeiten sich die Metalle bilden läßt. Die Bildung der Mineralien vergleicht er mit der Bildung des Menschen aus dem Samen, einer Flüssigkeit, die durch die Wärme der Eingeweide, die die Wärme des Herzens ist, sich entwickelt.

---

a) Der vollständige Titel lautet nach *H. Chalfa* bei D. Chwolson, Die Ṣabier etc. Bd. 2, S. 710. St. Petersburg 1856. Das Werk der Geheimnisse der Sonne und des Mondes über die Magie.

A. Angaben bei *al Ja'qûbî*.

Über eine Reihe von griechischen Gelehrten enthält das Geschichtswerk (891) von *Abû Ibn Abî Ja'qûb*, kurz *al Ja'qûbî*, (Brockelmann Bd. I, S. 226) eine Reihe von naturwissenschaftlich interessanten Angaben, die hier mitgeteilt werden sollen[1]).

Bei den Philosophen heißt es (S. 107), daß sie die Apparate (*Âla*) behandelten; da diese mit Talismanen zusammen genannt werden, so meint Klamroth, es handle sich um Zauberapparate.

Apollonius (S. 135), der Zimmermann, welcher der Einzige heißt (also der Mathematiker), wird von *Ja'qûbî* mit dem, der Talismane herstellt, zusammengeworfen.

Bei der Besprechung von *Pythagoras* (S. 134) heißt es: *Pythagoras* hatte einen Schüler Namens *Archimedes*; dieser verfertigte Brennspiegel, durch welche die Fahrzeuge des Feindes im Meere verbrannt wurden[2]).

Von Philon[3]) (S. 135) heißt es: Zu ihnen gehört *Philon*, der Erfinder der *Machâniqâ*[4]). Es sind Bewegungen (Bewegungsvorrichtungen), die durch das Wasser entsprechend der Figur[5])

---

[1]) Das Werk ist unter dem Titel „*Ibn Wâḍiḥ* qui dicitur *al Ja'qûbi* Historiae" von M. Th. Houtsma. Leiden 1883, herausgegeben. Die sich auf die griechischen Gelehrten beziehenden Abschnitte hat M. Klamroth, Z. D. M. G. Bd. 40, S. 189 u. 612. 1886 (Ärzte), Bd. 41, S. 415. 1887 (Philosophen) und Bd. 42, S. 1. 1888 (Mathematiker) übersetzt und z. T. besprochen. Die im folgenden gegebene Übertragung unterscheidet sich in einzelnen wenigen Punkten von der früheren. Die Zitate beziehen sich auf den arabischen Text.

[2]) Klamroth verweist auf eine Bemerkung von Galen (De temperam. III, 2 bei Kühn Bd. 1, S. 657) als älteste Quelle für diese Sage hin. Sie findet sich auch bei dem fast gleichzeitigen Lukian, Hipp. 2 (vgl. Heiberg, Quaest. Archimedeae S. 39; dort findet sich auch die weitere Literatur).

[3]) Der Text hat *Iqlimûn*; unter diesem vermutet Steinschneider wie bei *Ibn al 'Awwâm* mit Recht Philon (Z. S. f. Math. und Phys. Bd. 31, S. 104. 1886 und Z. D. M. G. 50, S. 355. 1896).

[4]) Die Pneumatik des Philon heißt bei den Arabern *Machâniqâ* des Wassers (vgl. Beiträge III, S. 233 und Beiträge VI). Gegen die nach W. Schmidt gemachte Angabe (Beiträge III, S. 233), daß *μάγγανον* für „qualicumque machina" gesetzt wurde, wendet sich A. H. in Byzantinische Z. S. S. 431. 1905.

[5]) Vgl. hierzu *Mafâtîḥ* S. 249.

Die im folgenden nicht sehr klar beschriebene Vorrichtung entspricht durch Wasser betriebenen Schöpfrädern, wie sie sich bei Philon Pn. ed. Carra de Vaux S. 201 ff., besonders S. 210 finden. Wenn es heißt „daß

konstruiert werden. Das Wasser bewegt sie, ohne daß etwas von ihnen bewegt wird. Es läßt sie aus einer Stelle heraustreten und senkt sie in eine andere Stelle. Die Vorrichtungen, die durch das Wasser bewegt werden, ohne daß sie bewegt werden, kommen hervor und werden verschlungen und kommen wieder hervor und wandern weiter in erprobter Weise. Er hat hierfür Figuren gezeichnet, die hergestellt werden, so daß sie tadellos waren.

Bei *Euklid* S. 139 wird neben den eingehend besprochenen Elementen auch die Optik[1]) behandelt mit folgenden Worten:

Von diesem *Euklid* rührt her das Werk über die angeschauten Gegenstände (*Manâẓir*) und den Unterschied, der infolge des Standpunktes (der Lage) der Augen und der Strahlen auftritt. In ihm wird ausgeführt, daß die Strahlen von dem Auge auf geraden Linien ausgehen, und daß sie auf einer un-

---

das Wasser sie bewegt, ohne daß sie bewegt werden" und ähnlich, so kann das entweder heißen, daß keine äußere Ursache wirkt außer dem Wasser, oder daß sich nicht das Ganze fortbewegt. [Die Konstruktion soll wohl entsprechend einem Bilde, das bei Philon sich findet, erfolgt sein.]

[1]) Es sei gestattet, hier noch die Definition der Optik durch *Ibn Chaldûn* (Text Bd. 3, S. 104, Übers. Bd. 3, S. 144) als Ergänzung der früheren S. 399 herzusetzen. Sie ist darum interessant, als hiernach diese Wissenschaft hauptsächlich als eine Lehre von den optischen Täuschungen behandelt wird.

Die Optik (*al Manâẓira*). In dieser Wissenschaft werden die Ursachen der Täuschungen bei den Gesichtswahrnehmungen erklärt, indem sie die Art, in der diese eintreten, kennen lehrt. Sie gründet sich darauf, daß die Wahrnehmung durch einen Strahlenkegel stattfindet, der als Spitze einen Punkt des Beobachters [die Pupille], als Basis das gesehene Objekt hat. Ein großer Teil der optischen Täuschungen besteht darin, daß nahe Objekte groß, entfernte klein erscheinen, daß undeutliche kleine Objekte, unter Wasser oder hinter durchsichtigen Körpern gesehen, groß erscheinen, daß ein fallender Regentropfen den Eindruck einer geraden Linie und ein (gedrehter) Feuerbrand den eines Kreises erzeugt und in ähnlichen anderen Dingen. Man erklärt in dieser Wissenschaft die Ursache und die Natur dieser Dinge durch geometrische Entwicklungen. Ferner erklärt die Optik die verschiedenen Phasen des Mondes infolge der Veränderung seiner Breite; hierauf stützt sich die Kenntnis des Auftretens des Neumondes, der Finsternisse und von vielem ähnlichen.

Viele Griechen haben über diesen Zweig geschrieben. Der berühmteste unter den Muhammedanern, die darüber geschrieben, ist *Ibn al Haiṯam*. Es gibt aber auch andere Autoren, die Abhandlungen über Optik geschrieben haben. Die Optik ist ein Zweig der Mathematik.

endlich großen Anzahl von Bahnen erfolgen. Ferner, daß die Dinge, auf welche die Strahlen fallen, gesehen werden und diejenigen, auf die sie nicht fallen, nicht gesehen werden.

Hierzu zeichnete er verschiedene Figuren[1]), durch die er den Ausgangspunkt des Blickens (*Naẓar*) erläuterte, und inwiefern er verschieden ist[3]).

Die Zahl der Propositionen[2]), durch die er das erläuterte, ist 64.

Ich füge noch bei die Übersetzung der Einleitung von *Naṣîr al Dîn al Ṭûsî* zu seinem Werk über die Optik des Euklid[4]).

Im Namen Gottes des allbarmherzigen, des allmilden, und auf ihn ist mein Vertrauen. Darstellung (*Taḥrîr*) der Optik des *Euklid*, sie besteht in 64 Propositionen.

Einleitung in das Buch. Das Auge erhält Eindrücke dadurch, daß sich etwas von den leuchtenden (feurigen) Körpern ausbreitet in dem durchsichtigen Körper, der sich zwischen ihm [dem Auge] und den betrachteten Gegenständen [den Objekten] befindet, wie die Luft, und was sich wie sie in bezug auf den Strahl verhält, wie ihn allein die leuchtenden Körper selbst hervorbringen. Dieser Strahl verhält sich, wie wenn er von dem Auge ausgesandt würde und aus ihm austräte und er ihm [dem Auge] dann in betreff der Sehkräfte (*Abṣâr*) ein Werkzeug würde. — Die Zustände der Objekte (d. h. deren Aussehen) sind je nach deren Lage verschieden. Die Wahrheit wird aber durch jenes (d. h. die erste Annahme) ausgesagt.

Wir wollen aber annehmen, daß jene Strahlen sich unmittelbar von dem Auge aus längst geraden Linien fortpflanzen, und daß sie sich gleichmäßig auf geraden Bahnen fortbewegen, deren Zahl unbegrenzt ist.

Die Gestalt der Strahlen ist ein Kegel, dessen Spitze im Auge liegt, und dessen Basis sich der Grenze des Objektes anschließt. Von den

---

[1]) und [2]) In beiden Fällen wird das Wort *Schakl* verwendet, das je nachdem Figur und Proposition bedeutet. Die arabischen Kommentatoren der Optik, so *Naṣîr al Dîn*, haben 64 Propositionen, aber weit mehr Figuren. Daß der Codex Lugd. 976 nur 24 Sätze nach Klamroth enthalten soll, beruht wohl auf einem Versehen.

[3]) In der Tat sind in der Euklidschen Optik zahlreiche Untersuchungen dem Fall gewidmet, daß die Lage des Auges eine verschiedene ist.

[4]) Dank dem großen Entgegenkommen der Herren Direktor Prof. Dr. Schwenke und Prof. Dr. Stern in Berlin konnte ich längere Zeit zwei Texte der betreffenden Schrift benutzen (Ahlwardt, Katalog, Bd. V, Nr. 6016 u. 6017). Der erstere ist besser geschrieben, aber weniger korrekt.

Gegenständen werden diejenigen gesehen, auf welche der Strahl fällt, und diejenigen, auf welche er nicht fällt, werden nicht gesehen. Was unter einem großen Winkel gesehen wird, erscheint groß und umgekehrt, und was unter zahlreichen Winkeln gesehen wird, erscheint zahlreich, und das, was unter gleichen Winkeln gesehen wird, erscheint gleich. — Ich erwähne ferner das, was erforderlich ist, damit unsere Rede fehlerfrei ist. Sind die Richtungen (*Ǵiha*) der Strahlen nach oben und unten verschieden, so erscheinen die Objekte nach diesen Richtungen dementsprechend verschieden. Das, worauf mehr Strahlen fallen, sieht man genauer (wahrer) und das, worauf die Achse (Pfeil) des Strahles fällt, das sieht man genauer als dessen Umgebung, da auf die erstere Stelle mehr Strahlen fallen und sie stärker zusammengedrängt sind (*Tarâkum*). Was [dieser Stelle] näher liegt, wird genauer gesehen als das, was ferner ist. Deshalb richtet der Schauende den Pfeil des Kegels nach dem, was sein Blick erstrebt, oder was er verifizieren will.

Wird der Strahl von einem glatten Körper, wie einem Spiegel, reflektiert (*in'aṭaf*), so entstehen zwei gleiche Winkel. Der eine heißt der Winkel des Strahles und der andere der Winkel der Reflexion.

Hieran schließen sich die Propositionen, die erste lautet: „Eine größere Zahl von Objekten sieht man nicht auf einmal bei einem einmaligen Hinschauen u. s. w.

Zu dem obigen ist zunächst zu bemerken, daß *Naṣîr al Dîn* ebenso wie *Ibn al Haiṭam* die richtige Ansicht hat über den Sehvorgang, aber doch mit Euklid Sehstrahlen benutzt.

Die Ausführungen entsprechen der Einleitung zu Euklids Optik in etwas erweiterter Form. Zugefügt ist weniges, vor allem der Satz über Reflexion, den *Naṣîr al Dîn* in anderen Abhandlungen benutzt.

Eine Vergleichung der einzelnen Propositionen mit denen bei Euklid soll später gegeben werden.

B. Angaben bei *Ibn al Qifṭî*.

Von Biographien aus *Ibn al Qifṭî* sollen hier diejenigen von *Ptolemäus* und *Euklid* mitgeteilt werden. Die Werke derselben, ihre Bearbeiter u. s. f. sind dabei nicht mit besprochen, da sie von Heiberg, Steinschneider, Suter, Klamroth, Boll u. a. bereits auf das eingehendste behandelt sind.

Ptolemaeus *al Qulûdî*[1])

ist der Verfasser des Werkes *Almagest* und anderer Werke. Er ist ein Führer in den mathematischen Wissenschaften; vollkommen und vortrefflich, er gehört zu den griechischen Gelehrten,

[1]) *Ibn al Qifṭî* S. 95. Vgl. Boll, Studien über Cl. Ptolemäus. Jahrb. für klass. Philologie 21, Suppl. S. 57. 1894.

er lebte in den Tagen des *Hadrian* und in den Tagen des *Antoninus*[1]), Königen von Rom, und 280 Jahre nach *Hipparch*. Und die meisten der Menschen, welche die Kenntnis der Geschichte der Völker für sich in Anspruch nehmen, halten ihn für einen der griechischen Ptolemäer (*Baṭâlisa* oder *Baṭâlima*), welche über Alexandria u. s. w. nach dem Tode des Alexanders herrschten; dies ist aber ein offenbarer Irrtum und ein deutliches Versehen, denn *Ptolemäus* erwähnt im 8. Abschnitt des dritten Buches seines Almagest[2]), das eine Zusammenstellung der Gesamtheit der Bewegungen der Sonne und der Beobachtungen an ihnen und ihres sonstigen Verhaltens enthält, das er im Jahre 19[3]) der Regierung des *Hadrian* beobachtete und er berichtet, daß vom ersten Jahre von *Nebukadnezar* bis zur Stunde dieses herbstlichen Äquinoctiums 879 Jahre und 66 Tage und 6 Stunden verflossen sind, und er teilt diese Jahre [in Abschnitte]. Er sagt nämlich: Vom ersten der Jahre des *Nebukadnezar* bis zum Tode *Alexanders*, nämlich des Macedoniers, des Großvaters des *Alexanders*, des Besitzers der beiden Hörner[4]), sind verflossen 424 ägyptische Jahre, und seit dem Tode Alexanders bis zum Königtum des *Augustus*, d. h. dem ersten der Könige [Kaiser] Roms sind es 294 Jahre, und vom ersten Jahre der Jahre des Königtums des *Augustus* bis zur Stunde der Beobachtung des erwähnten herbstlichen Äquinotiums sind es 161 Jahre und 66 Tage und 2 Stunden[5]). Aus dieser Analyse und genauen Feststellung der Richtigkeit seiner Zeitangaben ergibt sich klar, daß er 161 Jahre nach *Augustus* lebte. Und die Leute, welche sich mit der Wissenschaft der Geschichten der vergangenen Völker und der Kenntnis der Ereignisse der vergangenen Geschlechter beschäftigen, sind darüber überein gekommen, daß dieser *Augustus* ein römischer König war, und daß er die *Kleopatra*,

---

[1]) Der Text hat *Anṭûnius*.

[2]) Vgl. Ptolemäus ed. Heiberg 1,, S. 256.

[3]) Ptolemäus gibt nach dem griechischen Text an im 17. Jahre.

[4]) Die Bezeichnung bezieht sich entweder z. B. auf die Widderhörner des Jupiter Ammon oder auf eine Stelle im Buch Daniel; andere Erklärungen stehen in *Surûrî's* Kommentar zu *Sa'dî's Gulistân*; vgl. Caspari, Grammatik, 1. Auflage.

[5]) Die Angaben des *Qifṭi* nach den den Arabern zugänglichen Ausgaben des Almagest stimmen mit denen in der Heibergschen Ausgabe überein (Claudii Ptolemaei opera et Heiberg I, S. 256).

den letzten König der griechischen *Ptolemäer*, besiegte, sie war aber ein Weib, ich meine die *Kleopatra*; und daß durch den Sieg über sie das Königtum der Griechen aus der Welt verschwand. Hieraus ist aber der Irrtum derer ersichtlich, die meinen, daß er [Ptolemäus] zu den Königen, den *Ptolemäern*, gehört.

Und das genügt hierüber, wenn Gott will, erhaben ist er.

Und zu diesem *Ptolemäus* gelangte die Wissenschaft von den Bewegungen der Gestirne und die Kenntnis der Geheimnisse der Himmelssphäre, und bei ihm kam alles zusammen, was von dieser Wissenschaft bei den Griechen, Römern und anderen als ihnen von den Völkern, welche die westliche Hälfte der Erde bewohnten, verteilt war, und durch ihn wurden ihre getrennten Teile geordnet und ihre dunklen Stellen hell gemacht. Ich kenne keinen, der nach ihm eine Publikation wie sein Werk, das unter dem Namen Almagest bekannt ist, unternahm, und keinen, der sich darauf verlegte, ihm Opposition zu machen. Sie suchten es vielmehr zu erfassen, und zwar einige von ihnen durch Kommentieren und Erklären wie *Faḍl Ibn Ḥâtim al Nairîzî*[1]) und einige von ihnen dadurch, daß sie einen Auszug machten und sich ihm annäherten wie *Muḥammad Ibn Ġâbir al Battânî*[2]) und *Abu'l Raiḥân al Bêrûnî al Chuwarezmî*[3]), der Verfasser des Werkes *al Qânûn al masʿûdî* (masʿûdischer Kanon), den er für *Masʿûd ibn Maḥmûd Ibn Sebuktekin* (1030 bis 1040/41) verfaßte, und er stellte sich dabei Ptolemäus zur Seite und ebenso *Kûschjâr Ibn Labbân al Ǵîlî*[4]) in seinen Tafeln.

Das einzige Ziel der Gelehrten nach Ptolemäus, nach welchem sie strebten, und die Frucht ihrer Sorge, welche sie leidenschaftlich begehrten, war das Verständnis seines Werkes nach seiner Anordnung und die Beherrschung aller seiner Teile nach ihrem gradweisen Aufsteigen. Und man kennt kein Werk,

[1]) Suter, Mathematiker S. 45, Nr. 88.

[2]) Suter, Mathematiker S. 45, Nr. 89 und vor allem C. A. Nallino in *Al Battânî* Opus Astronomicum (Mailand).

[3]) Suter, Mathematiker S. 98, Nr. 218. (Die persische Aussprache ist *Chârezmî*, wir behalten aber, um keine Mißverständnisse hervorzurufen, die übliche Transkription bei.)

[4]) Suter, Mathematiker S. 84, Nr. 192.

das über eine alte und neue Wissenschaft geschrieben ist, das das ganze dieser Wissenschaft umfaßt und die einzelnen Teile dieser Wissenschaft in sich begreift, außer drei Werken: Das eine ist dieses Werk, nämlich der Almagest über die Wissenschaft der Gestalt der Sphäre (der Astronomie) und der Bewegungen der Gestirne, das zweite ist das Werk des *Aristoteles* über die Wissenschaft der Logik, und das dritte ist das Werk von *al Sîbûja al Baṣrî*[1]) über die Wissenschaft der arabischen Grammatik.

Es sagt *Muḥammad Ibn Isḥâq al Nadîm* in seinem Werk[2]): Ptolemäus, der Verfasser des Almagest, lebte zu den Zeiten des *Hadrian* und *Antoninus*, zweier Könige, die sich zu Herren des griechischen Reiches gemacht hatten. Zu ihrer Zeit beobachtete er die Sterne, und für einen derselben schrieb er den Almagest. Er war der erste, der das sphärische (kugelförmige) Astrolab und Sterninstrumente und das Planisphaerium[3]) und Gnomone und die Instrumente für Beobachtungen verfertigte. Es wird gesagt, daß eine ganze Anzahl vor ihm die Gestirne beobachtet haben, zu denen *Hipparch* gehört. Es heißt auch, daß er sein Lehrer gewesen; (dies ist aber eine irrtümliche Rede, denn zwischen den beiden Beobachtern lagen 900 Jahre[4]). *Ptolemäus* war ein sehr vortrefflicher Beobachter und ein sehr geschickter Erbauer von Beobachtungsinstrumenten[5]). Die Beobachtung ist aber nur durch ein Instrument vollständig, und der erste Beobachter[6]) war der kunstvolle Verfertiger eines Instrumentes.

---

[1]) Brockelmann I, S. 101.

[2]) Es ist dies der *Fihrist* S. 267.

[3]) Bezieht sich das Planisphaerium, lateinisch erhalten, d. h. auf die Projektion der Kugel auf die Ebene. Sehr ausführlich sind zwei astronomische Instrumente des Ptolemäus bei *al Ja'qûbi* (Bd. I, S. 154, Klamroth, Z. D. M. G. Bd. 42, S. 20. 1888) beschrieben, nämlich (*Dât al Ḥalq*) eine Armillarsphäre und (*Dât al Ṣafâiḥ*) das Astrolab.

[4]) Eine Handschrift hat 700 Jahre. Es widerspricht dies der Angabe S. 442, wo ein Zwischenraum von 280 Jahren angegeben ist, was richtig ist.

[5]) Diese Stelle fehlt in dem von A. Müller herausgegebenen Text des *Fihrist*; auch sonst zeigen sich einzelne Abweichungen.

[6]) Bei *raṣad* handelt es sich wohl um das Ausspähen und Aufsuchen, während bei *naẓar* wesentlich das aufmerksame Betrachten eines schon

(Hieran schließt sich die Besprechung der Werke des *Ptolemäus*.)

Noch an einer anderen Stelle (S. 99) wendet sich *Ibn al Qifṭi* gegen die Annahme, daß *Ptolemäus Philadelphus* (*Badallus*) mit dem Verfasser des Almagest identisch sei. Er schreibt: Sie sagen Ptolemäus [d. h. Philadelphus] ist der Verfasser des Almagest, das ist irrig, und das haben wir in der Vita jenes Ptolemäus klar bewiesen. Dieser war unter den Ptolemäern als Freund der Wissenschaften bekannt, und Gott weiß es besser. Er regierte 38 Jahre. Sein Lehrer war *Arastùs* (Aratus?), der Astronom.

Dagegen führt *al Chuwaresmî* (s. S. 443, Anm. 3) (*Mafâtiḥ al ʿUlûm* S. 113) unter den Ptolemäern auf: Ptolemäus, der Astronom, der die Mutter liebt (Philometor).

Euklid, der Geometer und Zimmermann, aus Tyrus[1]).

Das ist der Sohn des Naukrates, des Sohnes des Bereneikes, welcher die Geometrie geschaffen hat und sich in ihr ausgezeichnet hat. Er ist als Begründer der Geometrie bekannt. Der Name seines Werkes über die Geometrie ist im Griechischen *al Usṭurûschîjâ*[2]). Die Bedeutung des Wortes ist Prinzipien der Geometrie. [Er war] ein Weiser der alten Zeit, ein Grieche von Nationalität, ein Syrer dem Heimatslande nach und ein Tyrer nach der Vaterstadt, ein Zimmermann nach dem Gewerbe. Er besaß ein sehr großes Können in der geometrischen Wissenschaft. Seine unter dem Namen das Werk *al Arkân* (Elemente) bekannte Schrift hat bei den griechischen Gelehrten diesen Namen; nach seinem Tode nannten es die Rumäer *al Usṭuquṣṣât* und die Muhammedaner *al Uṣûl* (Elemente). Es ist ein Werk herrlich an Wert, groß an Nutzen. Es ist die Grundlage für dieses Gebiet. Vor ihm hatten die Griechen kein zusammenfassendes Werk über diesen Gegenstand. Nach ihm (Euklid) kam keiner, der sich nicht um dasselbe herumdrehte und sich seiner Worte

---

gegebenen Objektes in Betracht kommt, und entsprechend meint wohl *al Nadîm*, daß erst durch die Anwendung des Instrumentes ein wissenschaftliches Beobachten möglich war.

[1]) *Ibn al Qifṭi* S. 62.

[2]) Auch *Usṭûschîjâ*. Es ist dies eine andere, ägyptische, Form der unten vorkommenden *Usṭuquṣṣât* = στοιχεῖα (vgl. hierzu Klamroth, Z. D. M. G. Bd. 35, S. 284. 1881).

bediente. An ihm plagte sich eine Menge griechischer, rumäischer und muhammedanischer Mathematiker ab, in gleicher Weise der, der es erklärt, der, der auf Grund von ihm Lehrsätze aufstellt[1]), und der, der den von ihm gespendeten Nutzen herausbringt, und in dem Volk war keiner, der sich nicht vor seiner Vollkommenheit beugte und nicht Zeugnis ablegte für die Trefflichkeit seiner Gabe.

Die griechischen Gelehrten pflegten über die Tore ihrer Schulen zu schreiben „In unsere Schule soll keiner eintreten, der nicht Mathematiker (*murtâḍ*) ist“[2]), sie meinten damit, daß in sie keiner eintreten solle, der nicht das Werk des Euklid studiert hätte.

Von Euklid rührt noch über dies Gebiet her: Das Werk *Data* (*Mafrûḍât*), das Werk über die Optik, das Werk über die Zusammensetzung der Melodien und anderes als dies.

Ja'qûb Ibn Isḥâq al Kindi[3]) sagt in einer seiner Abhandlungen: Er [Euklid] war von großer Einsicht. Einer der griechischen Könige fand in den Bibliotheken zwei Werke, die dem Apollonius, dem Zimmermann, zugeschrieben wurden; in ihnen war die Herstellung der fünf Körper beschrieben, die die einzigen sind, welche eine Kugel umschreibt[4]). Er suchte nach einem, der ihm die Schwierigkeit der beiden Bücher löste, fand aber keinen auf griechischem Boden, der dies gekonnt hätte. Da befragte er diejenigen, die aus den verschiedenen Gegenden

[1]) Über die Bedeutung von *Schakl* vgl. Klamroth a. a. O. S. 285 und oben S. 440.

[2]) Ein solcher Ausspruch wird bekanntlich Plato in bezug auf die Mathematik im allgemeinen zugeschrieben. Kein Unkundiger in der Geometrie trete unter mein Dach! war die Ankündigung, mit der der angehende Akademiker empfangen wurde (vgl. Cantor, Geschichte, 1. Aufl., Bd. 1, S. 184).

[3]) Es ist dies der große Philosoph.

[4]) Die fünf Körper sind am Schluß des dreizehnten Buches von Euklids Elementen sowie im 14. und 15. Buch, von denen das erstere von Hypsikles herrührt, das zweite aus dem 6. Jahrhundert n. Chr. stammt, behandelt.

Mit den fünf regelmäßigen Körpern hat *Timäus* die vier Grundstoffe in Verbindung gebracht, denen er besondere Gestalten gibt. Das Feuer tritt als Tetraeder auf, die Luft besteht aus Oktaedern, das Wasser aus Ikositetraedern, die Erde aus Würfeln, und da noch eine fünfte Gestalt möglich war, habe Gott als diese das Pentagondodekaeder benutzt, um als

zu ihm kamen, und einer der befragten teilte ihm mit, daß er in Tyrus einen Mann mit Namen Euklid, dessen Gewerbe die Zimmermannskunst war, gesehen habe, der über diese Gegenstände gesprochen und sich mit ihnen beschäftigt habe. Da schrieb der König sogleich an den König des Gestades (Phönizien) und schickte ihm eine Abschrift der beiden oben erwähnten Bücher mit der Bitte, den Euklid wegen ihrer Lösung (Erklärung) zu befragen. Das tat der König von Phönizien und wandte sich an Euklid in dieser Angelegenheit. Euklid war der kenntnisreichste seiner Zeit auf dem Gebiet der Geometrie und legte ihm [dem König] den Inhalt der beiden Bücher dar und erklärte ihm das von Apollonius in ihnen verfolgte Ziel. Dann entwickelte er die Grundlagen, um zu der Kenntnis dieser fünf Körper zu gelangen; so entstanden die dreizehn Bücher, die dem Euklid zugeschrieben werden. Zu einem Ganzen vereinigte sie ein Mann nach Euklid, der ihnen auch die beiden Bücher zufügte, in denen über Dinge gehandelt wird, die nicht von Apollonius herrühren, nämlich über das Verhältnis eines dieser fünf Körper zu dem anderen und über die Einzeichnung eines derselben in den anderen. Es gibt Leute, die diese beiden Bücher einem

---

Umriß des Weltganzen zu dienen (*Zeller* meint, das Dodekaeder sei die Gestalt des Ätheratoms, d. h. der kleinsten Teile der das Weltganze umgebenden Schichtenα).

Dem entsprechend benannten auch die *Mafâtiḥ al Ulûm* die regelmäßigen Körper (S. 207). Es heißt dort:

Das feuerartige Gebilde (*al Schakl al nârî* = Tetraeder) ist ein von vier gleichseitigen Dreiecken begrenzter Körper. — Das erdartige Gebilde (*al Schakl al arḍî*) ist der Würfel (*Muka"ab*), er ist von sechs Vierecken mit gleichen Seiten und Winkeln begrenzt und hat die Gestalt des Würfels (*Ka'b*) beim *Nerd*spielβ). — Das luftartige Gebilde (*al Schakl al hawâî* = Oktaeder) ist ein von acht Dreiecken mit gleichen Seiten und Winkeln begrenzter Körper. — Das wasserartige Gebilde (*al Schakl al mâî* = Ikositetraeder) ist der von 20 Dreiecken mit gleichen Seiten und Winkeln begrenzte Körper. — Das sphärenartige Gebilde (*al Schakl al falaki* = Pentagondodekaeder) ist ein Körper, den zwölf Fünfecke mit gleichen Seiten und Winkeln begrenzen.

Hieraus ergibt sich auch der Sinn der bei Klamroth (Z. D. M. G. 35, S. 300. 1881) mitgeteilten syrischen Ausdrücke.

α) Vgl. Cantor, Geschichte, 1. Aufl., Bd. 1, S. 147.

β) Über das *Nerd*spiel, ein Brettspiel mit Würfeln vgl. z. B. Hyde, De ludis lib. II, S. 1. Oxford 1694.

anderen als Euklid zuschrieben, und meinen, daß sie nur dem Buch angehängt sind.

Nach dem Text, den Casiri (Bd. 1, S. 339) benutzt hat, lautet die Stelle viel kürzer und etwas anders; einmal ist nicht von den fünf Körpern, sondern von den Kegelschnitten die Rede, und am Schluß heißt es: Es gibt Leute, die diese beiden Bücher dem Euklid zuschreiben.

An einer anderen Stelle[1]) hat sich *al Kindî* nach *Ibn al Qifṭî* anders über *Euklids* Werk geäußert. Es heißt S. 64: *Al Kindi* berichtet in seinem Werk, daß ein Mann mit Namen Apollonius, der Zimmermann, dies Werk geschrieben hat; er verfaßte es in 15 Abhandlungen. Als die Zeit, zu der das Buch verfaßt war, lange vergangen war und es vernachlässigt war (sich in dasselbe Fehler eingeschlichen hatten), da wollte sich ein König der Alexandriner mit der Geometrie beschäftigen. Zu seiner Zeit lebte Euklid; ihm befahl er das Buch in Ordnung zu bringen und es zu kommentieren. Er tat es und kommentierte 13 Bücher, welche ihm zugeschrieben werden. Später fand *Hypsikles*, der Schüler des Euklid, zwei Bücher; es sind das 14. und 15., er brachte sie dem König, und sie wurden an das Buch angefügt. — All dies geschah in Alexandria[2]).

C. Angaben bei *Qazwînî*.

Bei *Qazwînî* Bd. 2, S. 382 findet sich bei der Besprechung von Griechenland eine Reihe Angaben über griechische Gelehrte, auf die mich H. Prof. Jacob aufmerksam gemacht hat. Besprochen sind *Sokrates*, *Plato*, *Aristoteles*, *Diogenes*, *Ptolemäus*, der Astronom, *Ptolemäus*, der Astrolog, *Balînâs* (*Apollonius*), der sich mit Talismanen beschäftigte, *Pythagoras*, *Iqlimûn* (*Palämon*), der Physiognomiker, *Euklid*, *Archimedes*, *Hippokrates* und *Galen*.

Wir wollen die auf die Astronomen und Mathematiker bezüglichen Artikel, die wenig bekannt zu sein scheinen, mitteilen, besonders da sie eine andere Auffassung einzelner der betreffenden Gelehrten bieten als die übliche. S. 384 heißt es:

[1]) Diese Stelle ist wörtlich aus dem *Fihrist* (S. 266) übernommen, vgl. Suter, Mathematikerverzeichnis S. 17.

[2]) Zu dem Ganzen ist Heiberg, Studien über Euklid. Leipzig 1882, am Anfang zu vergleichen, wo die Fragen kritisch behandelt sind.

Dorther (aus Griechenland) stammt *Ptolemäus*, der Meister der almagestischen[1]) Wissenschaft, der die Bewegungen der Sphären und die Wanderungen der Sterne auf Grund der geometrischen Beweise erkannte. Er sprach aus, daß einige der Sphären sich von West nach Ost, andere von Ost nach West bewegen, daß einige sich schnell, andere sich langsam bewegen, daß einige sich wie ein Mühlstein (d. h. um eine vertikale Achse), andere wie ein Wasserrad (d. h. um eine horizontale Achse)[2]) und andere wie ein Schwertgehänge (d. h. um eine geneigte Achse) drehen, ferner daß die Bewegungen der Gestirne den Bewegungen der Sphären folgen; daß ferner einige von den Sphären die Erdkugel umgeben, andere dies nicht tun, daß der Mittelpunkt von einigen der Mittelpunkt der Erde ist, und daß bei einigen der Mittelpunkt nicht mit dem Mittelpunkt der Erde zusammenfällt[3]). Für all dieses stellte er die geometrischen Beweise auf und maß die Sphären aus Tierkreiszeichen für Tierkreiszeichen, Grad für Grad und Sekunde für Sekunde, so daß er sagen konnte, an diesem Tage und zu dieser Stunde tritt eine Sonnen- oder eine Mondfinsternis ein; und es geschah, wie er gesagt hat, und das Wunderbarste ist, daß er mittelst geometrischer Beweise klarlegte, wie viel Meilen der Zwischenraum zwischen dem Himmel und der Erde beträgt, und wie viel Meilen zwischen jeder Sphäre und den darunter liegenden Sphären und wie viele Meilen ihr Umfang und ihr Durchmesser beträgt. Und zu dem Wunderbarsten gehört die Konstruktion des Astrolab und der Ephemeriden.

Lob dem (Allah), der den Menschen das lehrte, was er nicht wußte.

Dorther stammt *Ptolemäus*[4]), der aus den Sternen vorhersagte, [der Astrolog]. Man behauptet, daß einmal nach

---

[1]) Hier steht die „almagestische" Wissenschaft, die Astronomie in unserem Sinne, die sich auf Beweise gründet, der astrologischen, die sich auf Vermutungen stützt, gegenüber.

[2]) Vgl. Beiträge III, S. 230.

[3]) Dies bezieht sich nach Heiberg auf die Ὑποθέσεις des Ptolemäus, deren II. Buch nur arabisch erhalten ist (erscheint in Ptolem. Bd. II).

[4]) *Qazwînî* unterscheidet einen Astrologen und einen Astronomen *Ptolemäus*. Dabei ist zu beachten, daß die τετράβιβλος (Quadripartitum) von dem Astronomen *Ptolemäus* (Boll) herrührt.

dem anderen die Ereignisse eintraten, die er aus den Bewegungen der Sphären und der Wanderungen der Gestirne vorhergesagt hatte. Für diese Gegenstände (Wissenschaft) gibt es keinen Beweis, wie in dem Almagest, sondern man behauptet, daß sie hauptsächlich Vermutung ist, und daß sie von Voraussetzungen und zahlreichen Bedingungen abhängig ist, die selten bei einem aus unserer Zeit zutreffen. Wer etwas hiervon will, der muß in die Prophezeihungen hineinblicken von *Ǵâmasb*, dem Vezier des *Guschtasf*[1]), des Königs von Persien. Er lebte vor der Sendung von Moses und sagte vorher die Sendung von Moses, Jesus und unserem Propheten und die Vernichtung der Nation der Feueranbeter, das Hervorbrechen der Türken und zahlreiche ähnliche Ereignisse wie diese.

Dorther stammt *Balînâs*[2]), (wahrscheinlich *Apollonius* von *Tyana*) der sich mit den Talismanen beschäftigte. Man nimmt diese aus den himmlischen und irdischen Körpern zu bestimmten Zeiten, und in diesem unseren Buch sind die Talismane häufig erwähnt.

Dorther stammt *Pythagoras*[3]), der sich mit der Musik beschäftigte. Sie behaupten, daß er die Akkorde festsetzte entsprechend den Tönen der Bewegung der Sphäre mittelst seines Scharfsinnes und der Reinheit des Wesens seiner Seele. Er ermittelte die Prinzipien der Melodien und war der erste, der über diese Wissenschaft schrieb. Ihr Nutzen besteht darin, daß der Kranke, der seinen Schlaf oder seine Ruhe verloren

---

[1]) *Guschtasf* ist der *Vistâspa* des irânischen Altertums (vgl. Fihrist Anmerkungen S. 7 unten). — *Ǵâmasp* wird als Prophet auch im Fihrist aufgeführt S. 239, Z. 15. — S. 353 wird er unter den Alchemisten genannt und ihm S. 354 ein Werk über die Kunst (d. h. die Alchemie) zugeschrieben.

[2]) Vgl. Steinschneider, Math. § 140, S. 359.

[3]) Vgl. Steinschneider, Phil. § 2, S. 3. Bei *Qifṭi* S. 258 wird bemerkt, daß *Pythagoras* durch seinen Scharfsinn die Lehre von den Akkorden und der Komposition der Melodien unter Zahlenverhältnisse fallen ließ, ferner daß für ihn in dem Aufbau und der Anordnung des Kosmos auf Grund der besonderen Eigenschaften der Zahl wunderbare Anspielungen und entfernte Zwecke waren.

Weiter erwähnt *Qifṭi*, daß nach *Pythagoras* sich über der nützlichen, materiellen Welt eine geistige leuchtende befindet, deren Schönheit und Glanz der Verstand nicht erfaßt. Angenehme Wahrnehmungen sollen ohne Anstrengung erfolgen u. s. w. Dann heißt es, *Pythagoras* schrieb herrliche Werke über die Arithmetik und die Musik u. s. w.

hat, sich an diesen Tönen ergötzt. Oft kommt ihm der Schlaf, oder etwas, was ihn bedrückt, wird ihm dadurch, daß er sich mit dem Hören jener Töne beschäftigt, leicht. Ebenso wird der Traurige, den die Trauer überwältigt, von dem, was ihn bedrückt, teilweise erleichtert, wenn er sich mit etwas von diesen Melodien beschäftigt.

Dorther stammt *Iqlîmûn*[1]) *Polaemon* (lat. *Palaemon*), er ist der Meister der Physiognomik. Diese Physiognomik besteht darin, daß man aus sichtbaren Dingen Schlüsse auf verborgene zieht, und vieles zeigt sich den Menschen deutlich durch die Kraft seines Verstandes, wie er sagt, erhaben ist er (d. h. Gott): „Siehe hierin sind Zeichen für die Kenner[2])." Das verhält sich folgendermaßen: Siehst Du einen Menschen, der eine blasse Farbe hat, so siehst Du, daß er krank ist, und findest Du kein Zeichen von Krankheit, so weißt Du, daß er sich fürchtet. Siehst Du einen Mann mit einem großen Kopf, so weißt Du, daß er blöd ist, wegen einer Ähnlichkeit mit dem Esel; siehst Du einen Mann mit breiter Brust und dünner Taille, so weißt Du, daß er tapfer ist, denn er gleicht dem Löwen, und so weiter. Diese Wissenschaft wird auf den Weisen *Palaemon* zurückgeführt.

Dorther stammt *Euklid*, der die geometrischen Propositionen aufgestellt hat und die zweifellosen Beweise und die wunderbaren Bücher. Die Propositionen sind eine auf die andere gegründet, so daß man die zweite nicht versteht, falls man die erste nicht verstanden hat, und man die dritte nicht versteht, wenn man den zweiten nicht verstanden hat u. s. w. Und für dieses Gebiet der Wissenschaften ist nur derjenige geeignet, der Intelligenz und Scharfsinn besitzt. Es gehört zu den subtilen Wissenschaften.

Dorther stammt *Archimedes*, der die Wissenschaft der Zahlen aus magischen Quadraten auf wunderbare Art aufstellte. Er konstruierte eine Figur, deren Seiten alle gleich waren, sowohl nach der Länge als der Breite, und ebenso ihre Durchmesser und alle ihre Linien sind untereinander gleich an

[1]) Ist nach Steinschneider, Phil. § 60, S. 107, *Polemon*, der zur Zeit des Kaisers *Hadrian* über Physiognomik schrieb. (Arabisch erhalten, Förster, Scriptores physiogn. I).

[2]) Sûre 15, Vers 75.

Zahl. Sie behaupten, daß diese Figuren besondere Eigenschaften haben, wenn sie in bestimmten Zeiten geschlagen werden. Die Figur 3 auf 3 ist erprobt für die Leichtigkeit der Geburt, sie ist die erste der Figuren, und die letzte ist 1000 auf 1000. Er sagt wiederum, sie ist erprobt für das Siegen des Soldaten, wenn sie sich auf ihrer Fahne befindet.

Eigentümlich ist, daß von Archimedes keine anderen Leistungen als die Konstruktion der magischen Quadrate aufgeführt werden.

Die oben erwähnten Figuren (*Wafq*) sind die sogenannten magischen Quadrate, die als Talismane dienen können. Diese Quadrate bestehen aus einzelnen Fächern, in die man solche Zahlen oder Buchstaben einschreibt, daß sie parallel zu den Seiten oder nach den Diagonalen addiert oder zusammengesetzt die gleiche Summe oder das gleiche Wort ergeben. Im ersten Fall hat man das Zahlen-, im zweiten das Buchstabenquadrat. Neben diesen Quadraten gab es auch kreisförmige Tafeln (*Zâjirǵa* vgl. *Ibn Chaldûn*, Prol. Bd. 1, S. 245) Mathematisch gefaßt lautet das Problem:

In die n^2 Zellen eines Quadrates sollen die n^2 ersten natürlichen Zahlen so eingetragen werden, daß die Summen aller horizontalen und vertikalen Reihen stets die nämliche Zahl liefern wie die Summen der beiden Diagonalreihen.

Ein Quadrat, das aus 6×6 Feldern besteht, heißt *Musaddas* oder auch das Viereck 6 auf (*fî*) 6, oder das der 6 zukommende (*sudâsî*) magische Quadrat, eines mit 7×7 Feldern hieß *Musabba'*. Die Leute, die sich mit diesen Gegenständen befassen, heißen *Ahl al Taksîr* (Leute der Zerlegung); die von ihnen betriebene Wissenschaft besteht nach *Ibn Chaldûn* (Proleg. Übers. Bd. 3, S. 199) darin, daß man aus den Beziehungen, die zwischen Worten bestehen, die aus bestimmten Buchstaben zusammengesetzt sind, Antworten zu erhalten sucht.

Diese Quadrate sind von *Ibn Chaldûn* mehrfach (Proleg. Bd. 2, S. 231, Bd. 3, S. 185 u. 190) besprochen, spez. bei der Lehre von der Magie und den Talismanen sowie von den geheimen Eigenschaften der Buchstaben. Erwähnt werden sie von B. Sanguinetti, J. asiat. (6), Bd. 6, S. 382. 1865.

Ein Werk über diesen Gegenstand *Ṭarîq al Aufâq* von *Ja'qûb Beruchiel Ibn Beruchiel* ist in München (Aumer Katalog der arab. Handschriften in München S. 384 cod. or. 358).

Eine Reihe solcher Zahlenquadrate sind bei den *Ichwân al Ṣafâ* (Dieterici, Propädeutik S. 43) mitgeteilt, wo auch einiges über deren Wirkung als Talismane angegeben ist. Die „neunfach geformte" Gestalt (3 auf 3) ist:

2	7	6
9	5	1
4	3	8

Solche Quadrate befinden sich auch im Ägyptischen Museum zu Berlin.

Eine Zauberei mit demselben magischen Viereck mit der Summe 15 beschreibt *Lane* (Sitten und Gebräuche, Bd. 2, S. 92; auf Tafel 37 B ist dasselbe abgebildet). Es wird einem Knaben in die rechte Hand geschrieben und in ihre Höhlung etwas Tinte gegossen. Der Knabe, der dann in die Tinte schaut, sieht Erscheinungen von Personen u. s. w.

Ein magisches Quadrat, wie das obige „sigillum Saturni", mit der Quersumme 15 hat auch *Th. Paracelsus* zu magischen Zwecken benutzt.

Ein magischer Kreis und ein magisches Quadrat 4:4 mit der Quersumme 20 ist mitgeteilt in *G. A. Herklots Qanoon-e-Islam*, Madras 1895 auf der zu S. 219 gehörigen Tafel 1. (Herr Prof. Jacob hat mich auf dies wenig bekannte Werk aufmerksam gemacht.)

Von neueren Schriften sei verwiesen auf H. Scheffler, Die magischen Figuren. Leipzig 1882, der auch Literatur mitteilt, auf Enzyklopädie d. math. Wissensch. Bd. I_2, S. 580, ferner S. Günther, Arch. f. Math. u. Phys. 57, S. 285. 1875, wo eine sehr vollständige historische Übersicht gegeben ist.

5. Zusätze zu früheren Mitteilungen.

Ich möchte zu den Beiträge III, S. 218 gemachten Mitteilungen über die von den Geographen *al Kindî* genannten Männer u. s. w. einiges beifügen.

S. 219. In der orientalischen Literaturzeitung hat Bd. 4 ff. Steinschneider wichtige Zusätze zu Suters Schriften gegeben.

Zu S. 220. Zu der Ausgabe des *Qifṭî* von Müller und Lippert hat C. F. Seybold (Z. D. M. G. Bd. 57, S. 805. 1903) eine Reihe von Verbesserungen angegeben, die sich vor allem auf Namen beziehen. Nach ihm ist Beiträge III, S. 248, Z. 13 von unten statt *al Ġauf* zu lesen *al Ḥauf*, d. h. das östliche Delta.

Zu S. 222. *Al Kindî* hat seine Angaben einem umfangreichen Werke seines Vaters *'Abû 'Omar Muḥammad al Kindî* entnommen, sie gehen also ziemlich weit vor die Nachrichten des *Fihrist* zurück (vgl. C. A. Nallino, Cosmos di Guido Cora XIII fasc. 1. Roma 1901).

Zu S. 223. Die Schrift von Hermes Trismegistos ist vollständig von Bardenhewer, Bonn 1873 publiziert.

Zu S. 227. Nach Suter dürften die bei *Arâṭus* erwähnten Werke seine Phänomena sein. *Aratus* wird nicht von *Qifṭî* und im *Fihrist* erwähnt, wohl aber (Suter) von *al Ja'qûbî* (Historia ed. Houtsma Bd. 1, S. 143) mit dem Globus und den Konstellationen; von den astronomischen Tafeln sagt er nichts.

Dort heißt es: Zu ihnen gehörte *Arâṭus*, welcher das Abbild der Sphäre in Form eines Eies herstellte und durch dasselbe die Sphäre nachahmte und auf ihr die Tierkreiszeichen darstellte. (Nach Klamroth, Z. D. M. G. Bd. 42, S. 16 hätte *Ja'qûbî* aus der poetischen Darstellung des *Aratus* eine bildliche gemacht.)

Bei *Mas'ûdî* (*Kitâb al Tanbîh*) kommt *Arâṭus* S. 191 vor als Verfasser des Werkes über das Bild der Sphäre und der Sterne.

S. 227. *Hipparch* wird schon von den Griechen im zweiten Jahrhundert n. Chr. zu den Astrologen gerechnet (Catalogus codd. astrolog graec. Bd. 3, S. 10 u. ö., in diesem finden sich Bd. 2, S. 83 auch einzelne Teile von *Valens* mitgeteilt), unter *Stephanus* dem Babylonier ist wohl der Alexandriner zu verstehen (Mitteilungen über diese Gegenstände verdanke ich H. Prof. Boll in Würzburg).

Zu S. 229. Zu Heron ist noch u. a. zu vergleichen G. Hoppe, Ein Beitrag zur Zeitbestimmung Herons von Alexandrien (Programm Hamburg 1902, Nr. 815).

S. 235. *Eutokius* wird von *Tannery* wohl richtiger ins 5. und nicht in das 6. Jahrhundert gesetzt (vgl. Catalogus codd. astrol. gr. Bd. 2, S. 170, Anm. 1).

S. 236. Das *Kitâb al Tanbîh* u. s. w. ist von C. de Vaux übersetzt unter dem Titel Le livre de l'avertissement et de la révision. Paris 1896.

S. 236. *Aġânîs* ist wohl nach Nallino *Oribasius*.

S. 237. Die Schrift von *Aristoteles* Brief des goldenen Hauses ist auch bei *Jâqût* (Bd. 1, S. 504) gelegentlich der Besprechung der *Baḥr al muḥîṭ* (das umgebende Meer) erwähnt; dort heißt es, daß es Aristoteles in seinem als „Goldenes Haus" bezeichneten Brief Okeanos nannte. — Dieser Brief muß also ziemlich verbreitet gewesen sein.

Zu S. 239. Himmelskugel als Ei. Sehr ausführlich behandelt *al Battânî* a) die Herstellung eines Instrumentes, das der Sphäre entspricht, auf der die Sterne des Äthers (*Aiṯîr*) verzeichnet sind, und die das Ei (*al Baiḍa*) genannt wird.

Abu'l fidâ berichtet: *'Alam al Dîn Qaiṣar* mit dem Beinamen *Ta'âsif* (der Geometer) hat in *Ḥamâ* eine vergoldete Holzkugel konstruiert, auf der er alle beobachteten Sterne verzeichnete. Es sagt der *Qâdî Ġamâl al Dîn Ibn Wâṣil*: ich pflegte dem *Scheich 'Alam al Dîn* bei ihrer Herstellung zu helfen, und *al Malik al Muẓaffar* (Fürst von *Hamâ* † 1244) war zugegen, der uns, die wir sie mit Zeichen versahen, nach den genauen Stellen auf ihr befragte (Abulfeda, Annales ed. Reiske, Bd. 4, S. 479; vgl. Suter, Math. 143).

Dieser Globus oder eine Nachahmung desselben existierte noch 1809 in der Sammlung des Kardinals *Borgia* zu Velletri (Suter, Nachträge S. 175).

Zu S. 242ff. ist zu vergleichen S. Günther, Die Lehre von der Erdrundung und Erdbewegung im Mittelalter (Studien zur Geschichte der math. und phys. Geographie, Heft 2. Halle a/S. 1877).

Über die Dimensionen der Erde enthält *Mas'ûdî*, Goldwäschereien Bd. 1, S. 179 manche Angaben

In dem *Kitâb al Masâil* (vgl. oben S. 420) behandelt die von Biram nicht mitgeteilte 19. Frage (vgl. Ahlwardt, Bd. 4, Nr. 5125) die Kugelgestalt der Erde.

Prof. de Goeje macht mich auf eine Stelle bei *Ibn Rosteh* (ca. 900) S. 23 aufmerksam. Dort heißt es: „Einige sagen, daß, was man von der

a) *Al Battânî* etc. ed. C. A. Nallino, Bd. 1, S. 141. 1903. Pubbl. del R. Ossery. di Brera in Milano, Nr. XL, Parte 1).

Kreisbewegung der Sterne sieht, eigentlich das Drehen der Erde und nicht das der Sonne und des Himmelsgewölbes ist".

Zu S. 245. *al Bêrûnî* hat die angeführte Methode wirklich in Indien zur Bestimmung der Größe der Erde benutzt, wie er selbst anführt (Nallino, Il valore metrico del grado etc. Torino 1793).

S. 262 ist in Anm. 2 zu lesen „Bd. 1, S. 126" statt „Bd. 1, S. 621".

Inhalt.

1. Übersetzung und Besprechung der Abhandlung über die Geometrie aus *al Anṣârî's Irschâd al Qâṣid* S. 393. Ausführungen über die Architektur S. 397; über Kegelschnittzirkel S. 398. Arabische Literatur über die Optik S. 399. Ausführungen über Brennspiegel S. 402. Vermessen S. 405. Zu Herons Mechanik S. 407. Über Uhren S. 408.

2. Auszüge aus *Ibn Sînâs* Teile der philosophischen Wissenschaften (Mathematische Wissenschaften) S. 425. Über die wunderbaren Musikinstrumente S. 427.

3. Auszüge aus dem Abschnitte über Naturwissenschaften von *Ibn Sînâ* und *al Anṣârî* S. 429. Meteorologie S. 432.

4. Biographen griechischer Gelehrter S. 437.

A. Angaben bei *al Ja'qûbî* S. 438. Optik von *Nasîr al Dîn* S. 440. B. Angaben bei *Ibn al Qiftî* S. 441. C. Angaben bei *Qazwînî* S. 448. Über magische Quadrate S. 452.

5. Zusätze zu früheren Mitteilungen S. 453.

Zusammenstellung der geologischen Literatur über die Erlanger Gegend.[1]

Von W. Koehne.

Aus dem mineralogisch-geologischen Institut der Universität Erlangen.

Im nördlichen Bayern ist die Erlanger Gegend dadurch ausgezeichnet, daß sich eine besonders große Zahl geologischer Publikationen mit ihr beschäftigt hat. Der Grund dafür ist im Vorhandensein der Universität zu suchen. Denn während v. Gümbel und seine Mitarbeiter bei ihren ganz Bayern gewidmeten Untersuchungen keinen Grund hatten, diese Gegend zu bevorzugen, widmete man naturgemäß von seiten des Erlanger mineralogisch-geologischen Instituts der Umgegend Erlangens und den nächstgelegenen Teilen des Frankenjura, die in Tagesausflügen erreichbar sind, besondere Aufmerksamkeit.

Eine Zusammenstellung der einschlägigen Literatur wird daher erwünscht sein und es dem wissenschaftlichen Publikum Erlangens erleichtern, sich die für einzelne Fragen in Betracht kommenden Werke herauszusuchen.

Gehemmt wurde die Untersuchung unserer Gegend jedoch dadurch, daß genügende kartographische Unterlagen, wie sie jetzt für die südlicheren Teile des Kreises Mittelfranken in den neuen schönen Positionsblättern im Maßstabe 1 : 25000 zur Verfügung stehen, in unserem Gebiete noch nicht vorhanden sind.

Bei solchen Aufsätzen, von denen nur ein Teil für die Erlanger Gegend von Belang ist, wurden in der Regel nur die

---

[1]) Zusammengestellt nach „W. Koehne: Verzeichnis der geologischen Literatur über die Fränkische Alb und der für deren Versteinerungskunde und Geologie wichtigsten Literatur aus anderen Gebieten“ (Sonderabdruck aus d. Abhandl. d. Naturh. Gesellsch. XV. Bd., H. 3. Nürnberg. 29 SS. 1906).

auf diese bezüglichen Seitenzahlen zitiert. Eine chronologische Übersicht wurde angefügt.

1. Ammon, L. v. u. Thürach, Übersicht der Verwerfungen im nördlichen Bayern. In Gümbels geognost. Beschr. der fränkischen Alb. 1891. S. 610—640.
2. Ammon L. v., Kleiner geologischer Führer durch einige Teile der Fränkischen Alb. Exkursion von Mitgliedern der Deutschen geologischen Gesellschaft in den Frankenjura. September 1899. München.
3. Baldus, Geologische Beschreibung des Hetzlasgebirges. Inaug.-Diss. Erlangen 1893.
4. Baumann, Bodenkarte vom Nürnberger Reichswald. Forstl. naturw. Zeitschr. 1893. 11. Heft.
5. Benner, H., Beiträge zur Geologie und Agronomie des Schwabachtales bei Erlangen. Inaug.-Diss. Erlangen 1898.
6. Bettinghaus, Geognost. Beschreibung des Rathsberger Höhenzugs. Inaug.-Diss. Erlangen 1896.
7. Blanckenhorn, M., Das Diluvium der Umgegend von Erlangen. Sitz.-Ber. d. phys.-med. Soz. Erlangen 1895.
8. Blanckenhorn, M., Theorie der Bewegungen des Erdbodens. Zeitschr. d. Deutschen geolog. Ges. 48. 1896. S. 389, 390, 391.
9. Blos, W., Die Quellen der Fränkischen Schweiz. Inaug.-Diss. Erlangen 1903.
10. Braun, Fr., Die Tiere in den Pflanzenschiefern der Gegend von Bayreuth. Bayreuth 1860. Zwar nicht auf die Erlanger Gegend bezüglich, sei aber deswegen hier genannt, weil sich die Originale dazu, so der Limulus liaso-keuperinus, in Erlangen befinden.
11. Erdbeben, Beschreibung von. Dreßnische gelehrte Anzeigen auf das Jahr 1756. S. 25. Erdbeben zwischen Ebermannstadt und Gasseldorf, Bergrutsch am Berge Trudenleiden.
12. Esper, Joh. Fr., Ausführl. Nachricht von neuentdeckten Zoolithen unbekannter vierfüßiger Tiere und denen sie enthaltenden, sowie verschiedenen anderen denkwürdigen Grüften der Oberbürgischen Lande des Markgrafentums Bayreuth. Mit 14 illum. Kupfertafeln. Nürnberg 1774. gr. fol.
13. Fild, Die tektonischen Verh. d. Ehrenbürg b. Forchheim. Inaug.-Diss. Erlangen 1903.
14. Gebert, Die geognost. Verh. v. Mittelfranken. Ansbach 1884.
15. Geigenberger, Zur Geognosie, Agronomie u. Hydrographie des Ober- und Untergrundes d. Stadt Erlangen u. ihrer nächsten Umgegend. Inaug.-Diss. Erlangen 1895.
16. Gümbel, C. W. v., Geognost. Karte vom Königreich Bayern u. d. angrenzenden Ländern. München 1859.
16. — Die Streitberger Schwammlager u. ihre Foraminiferen-Einschlüsse. Württ. Jahresh. XVIII. 1862. S. 192—238.

18. — Über das Knochenbett (Bonebed) u. d. Pflanzensch. in der rhätischen Stufe Frankens. Sitz.-Ber. d. k. bayer. Ak. d. Wiss. 1864. I. S. 254—260.
19. — Übersicht über die geognost. Verh. d. Fränkischen Alb. Bavaria Bd. III. Lief. XI. 1864.
20. — Über Bildung von Höhlen in Bayern. Beitr. z. Anthropolog. u. Urgesch. Bayerns II. 1879.
21. — Geognost. Karte des Königreichs Bayern 1:100000. Nr. XIII. Bl. Bamberg. Dazu „Kurze Erläuterungen" 1887.
22. — Geognost. Beschr. d. Königreichs Bayern IV. Geogn. Beschr. d. Fränkischen Alb (Frankenjura), Kassel 1891.
23. — Ammon v. und Thürach, Übersichtskarte der Verbreitung jurassischer u. Keuperbildungen im nördlichen Bayern. 1:500000 1891.
24. — Geologie von Bayern II. Geolog. Beschr. von Bayern. Kassel 1894.
25. — Geologische Übersichtskarte von Bayern u. d. angrenz. Ländern. 1:1000000. 1894.
26. Hoff, v., Chronik der Erdbeben. Geschichte der natürl. Veränderungen der Erdoberfläche IV. Teil. 1840. S. 282.
27. Hornung, Die Diluvial- u. Alluvialablagerungen des Regnitztales nördl. Erlangen nebst einigen Betrachtungen d. orograph. und hydrograph. Verh. d. Niederschlagsgeb. d. Regnitz. Inaug.-Diss. Erlangen 1899.
28. Hummel, Geologisch-agronomische Studien im Bereich des westl. Ufers der Regnitz bei Erlangen. Inaug.-Diss. Erlangen 1897.
29. Kaul, Geologisch-chemische Studien über d. Ton- und Lehmvorkommen um Nürnberg. Inaug.-Diss. Erlangen 1900.
30. Knebel, W. v., Geologie der Fränkischen Schweiz. In Brückners Führer durch die Fränkische Schweiz. S. 94—103.
31. Köhn, E., Beitr. zur Kenntnis d. Wässer d. fränk. Jura. Inaug.-Diss. Erlangen 1889.
32. Koehne, W., Vorstudien zu einer neueren Untersuchung der „Albüberdeckung" im Frankenjura. Sitz.-Ber. d. phys. med. Soz. Erlangen 37. S. 321—342 (1905). Separatabdrücke Januar 1906.
33. — Verzeichnis der geologischen Literatur über die Fränkische Alb und d. für deren Versteinerungskunde u. Geologie wichtigsten Lit. aus anderen Gebieten. Alphabet. Verz. bis 1905. Sonderabdruck aus d. Abh. d. Naturh. Gesellsch. XV. Bd. H. 3. Nürnberg 1906.
34. — Geologische Geschichte der Fränkischen Alb. (Erweiterung eines in der Naturhist. Ges. zu Nürnberg gehaltenen Vortrags, im Druck.)
35. Lenk, H., Über die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Erlangen mit Bezug auf die städtische Wasserversorgung. 1906. (Im Druck.)
36. Lissack, Die geognost. Verh. d. Umgegend v. Kalchreuth u. Eschenau b. Erlangen. Inaug.-Diss. Erlangen 1894.
37. Mittelfranken. Geognostische Beschaffenheit des Kreises Mittelfranken. Ohne Autor. Die beigegebene „geognostische Karte von Mittel-

franken" trägt die Jahreszahl 1844 u. d. Vermerk: „Steindruck von Schwarz in Ansbach".

38. Nehring, Die Fossilreste der Mikrofauna aus den oberfränkischen Höhlen. Beitr. z. Anthropol. u. Urgesch. Bayerns. II. München 1879.
39. Neischl, A., Die Höhlen der Fränkischen Schweiz u. ihre Bedeutung für die Entstehung der dortigen Täler. Inaug.-Diss. Erlangen 1903.
40. Neumeister, P., Die Alluvial- und Diluvialablagerungen des Regnitztales südl. Erlangen. Inaug.-Diss. Erlangen 1905.
41. Pfaff, Fr., Beiträge zur Kenntnis d. Fränk. Juras. N. Jahrb. f. Mineralogie etc. 1857. S. 1—21.
42. — Geognostische Karte der Umgegend von Erlangen und eines Teiles der Fränkischen Schweiz. Erlangen. Th. Bläsing. 1859.
43. — Beiträge zur mechanischen Geologie aus dem fränk. Jura. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 1868. S. 389—396.
44. — Allgem. Geologie als exakte Wissenschaft, Leipzig 1873.
45. Pfaff, F. W., Über die Gliederung des Diluviums der Umgegend von Erlangen. N. Jahrb. f. Mineralogie etc. 1895. I. Briefl. Mitt. S. 216 bis 218.
46. Pfaff, S., Über die unlöslichen Bestandteile der Dolomite u. Kalke des fränkischen Jura. Zeitschr. f. d. gesamten Naturwissensch. III. Folge. 1878. Bd. III. S. 284—294.
47. Popp, O., Der Sandstein von Jägersburg b. Forchheim u. d. in ihm vorkommenden fossilen Pflanzen. N. Jahrb. f. Mineralogie etc. 1863. S. 399—417.
48. Ranke, Joh., Das Zwerg- und Hasenloch bei Pottenstein. Beitr. z. Anthropologie u. Urgesch. Bayerns. II. München 1879.
49. — Die Felsenwohnungen aus der jüngeren Steinzeit in der fränkischen Schweiz. Beitr. z. Anthropol. u. Urgesch. Bayerns. III. München 1880.
50. Raumer, E. v., Beitr. z. Kenntnis der fränkischen Liasgesteine. Inaug.-Diss. Erlangen 1878.
51. Reinsch, P., Untersuchung eines versteinerten Holzes in den Monotiskalken des oberen Lias in Franken. N. Jahrb. f. Mineralogie etc. 1859. S. 263—269.
52. — Chemische Untersuchung der Glieder der Lias- und Juraformation in Franken. N. Jahrb. f. Mineralogie etc. 1859. S. 389—420.
53. Rosenmüller, Abbildungen und Beschreibungen merkwürdiger Höhlen um Muggendorf im Bayreutischen Oberlande. Erlangen, verlegt bei Joh. Jak. Palm. 1 Heft „Höhle bei Mockas". 1796. Fortsetzung nicht erschienen, in der folgenden Arbeit wieder verwendet.
54. — Die Merkwürdigkeiten d. Umgegend von Muggendorf. Berlin 1804.
55. Sandberger, F. v., Über die pleistocänen Kalktuffe der fränkischen Alb nebst Vergleichungen mit analog. Ablagerungen. Sitz.-Ber. d. math.-phys. Kl. d. k. bayer. Ak. d. Wiss. 1893. Bd. XXIII. Heft I.
56. Schenk, Die fossile Flora der Grenzschichten des Keupers u. Lias Frankens. Wiesbaden 1867.

67. Schlosser, Die Pleistocänschichten in Franken und ihr Verhältnis zu den Ablagerungen am Schweizerbild bei Schaffhausen. N. Jahrb. f. Mineralogie etc. 1895. I. S. 209—214.
58. — Die Fauna d. Lias u. Dogger in Franken u. d. Oberpfalz. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 1901. S. 513—569.
59. Schrüfer, Über die Juraformation in Franken. Sits.-Ber. d. naturf. Ges. zu Bamberg. 1861. S. 60, 71, 74, 80, 84, 86, 92, 100, 102, 113, 123, 125, 126, 127.
60. — Über den oberen Keuper u. oberen Jura in Franken. Sep.-Abdr. aus d. 7. Bericht der naturf. Ges. zu Bamberg für 1863.
61. Schwarz, Flora d. Umgegend von Nürnberg-Erlangen u. des angrenzenden Teils des fränk. Jura. I. od. allgem. Teil. Geologischer Überblick. S. 3—148. Nürnberg 1897.
62. Sellheim, Beitr. zur Foraminiferenkenntnis d. fränkischen Juraformation. Inaug.-Diss. Erlangen 1893.
63. Spaeth, Beitr. z. Kenntn. d. hydrographischen Verhältnisse von Oberfranken. Inaug.-Diss. Erlangen 1889.
64. Spohn, Chemisch-geolog. Studien in der Umgegend v. Forchheim., Inaug.-Diss. Erlangen 1896.
65. M. Zachariae Theobaldi Einfältiges Bedenken, was von dem Bergfall zu halten, welcher sich in unserer Nachbarschaft an dem Berg (die Trutleiden genannt) zwischen Ebermannstadt u. Gasseldorf, Bambergischen Gebietes, gelegen, anfänglich den (22. Febr.) 4. Martii, zwischen 10 und 11 Uhr, vormittag, dieses 1625. Jahrs, begeben, und noch ferneres continuieret. Nürnberg, Gedruckt bei Simon Halbmayern. Mit Abbild. (In der Pfarrbibliothek zu Kraftshof vorhanden.)
66. Thürach, Beiträge zur Kenntnis des Keupers in Süddeutschland. Geogn. Jahresh. f. 1900. 13. Jahrg. 1901. München. S. 7—53.
67. Waagen, Über die Zone des Ammonites Sowerbyi. Beneckes geogn. paläont. Beitr. I. Heft 3. 1867. S. 526—580. (Siehe auch S. 585—665.)
68. Wagner, A., Muggendorfer Dolomit. Isis von Oken. Leipzig 1831. S. 451.
69. — Charakteristik der in den Höhlen um Muggendorf aufgefundenen urweltlichen Säugetierarten. Abhandl. d. II. Kl. d. k. bayer. Akad. d. Wiss. Bd. VI. I. Abt. S. 195—264. Taf. VII. 1851.
70. Zimmermann, Das Juragebirg in Franken und Oberpfalz, vornehmlich Muggendorf u. seine Umgebungen. Erlangen 1843.
71. Zittel, Über den Brachialapparat bei einigen jurass. Terebratuliden. Paläontogr. XVII. 1870. S. 212—213.
72. Zittel, Die anthropologische Bedeutnug der Funde in fränkischen Höhlen (Beitr. z. Anthropol. u. Urgesch. Bayerns II. München 1879).

Chronologische Zusammenstellung über die Tätigkeit der einzelnen Autoren.

Um 1625 Theobaldus, — 1756 Anonymus: siehe Erdbeben, — 1774 Esper, — 1796 Rosenmüller, — 1804 Rosenmüller, — 1831 A. Wagner, —

1840 v. Hoff, — 1843 Zimmermann, — 1844 Anonymus: siehe Mittelfranken, — 1851 A. Wagner, — 1857 Fr. Pfaff, — 1859 v. Gümbel, Fr. Pfaff, Reinsch, — 1861 Schrüfer, — 1862 v. Gümbel, — 1863 Popp, Schrüfer, — 1864 v. Gümbel, — 1867 Schenk, Waagen, — 1868 Fr. Pfaff, — 1870 Zittel, — 1873 Fr. Pfaff, — 1878 S. Pfaff, E. v. Raumer, — 1879 v. Gümbel, Nehring, Ranke, — 1880 Ranke, — 1884 Gebert, — 1887 v. Gümbel, — 1889 Köhn, Spaeth, — 1891 v. Gümbel, v. Ammon u. Thürach, — 1893 Baldus, Baumann, v. Sandberger, Sellheim, — 1894 v. Gümbel, Lissack, — 1895 Blanckenhorn, Geigenberger, F. W. Pfaff, Schlosser, — 1896 Bettinghaus, Blanckenhorn, Spohn, — 1897 Hummel, Schwarz, — 1898 Benner, — 1899 v. Ammon, Hornung, — 1900 Kaul, — 1901 Schlosser, Thürach, — 1903 Blos, Fild, Neischl, — 1905 Neumeister, — 1906 W. Koehne, Lenk.

Über Toxine aus Eiweifskörpern.

Von Wolfgang Weichardt.

Referat über einen in der Sitzung vom 16. November 1905 gehaltenen Vortrag.

Aus dem hygienisch-bakteriologischen Institut der Universität Erlangen.

Der Vortragende berichtet zunächst über Vorgänge, die sich bei der Zytolyse abspielen, und erläutert auf Grund der von ihm aufgestellten mikroskopischen Präparate das Wesen der Bakterizidie.

Hierauf geht er auf die Endotoxinfrage ein und bespricht sie unter den verschiedensten Gesichtspunkten. Dabei nimmt er vor allen Dingen Stellung gegen die Anschauung, daß von einer Antiendotoxinbildung überhaupt nicht gesprochen werden könne.

Diese Anschauung gründet sich auf die Lehre R. Pfeiffers. Bei der Infektion mit Cholerabazillen sind allerdings die quantitativen Verhältnisse derartige, daß durch die reichliche Bildung von bakteriziden Substanzen und der infolge davon zahlreich frei werdenden Endotoxine die etwa gebildeten Antiendotoxine gänzlich verdeckt werden. Wir sehen aber bei lang fortgesetzten Tuberkulininjektionen und bei der Heufieberserumanwendung, daß tatsächlich Antiendotoxine vorhanden sind.

Dann beschreibt der Vortragende seine neuen Versuche, bei denen es ihm gelungen ist, durch chemisch definierbare Mittel der verschiedensten Art bei der Aufspaltung des Eiweißmoleküles streng charakterisierte echte Toxine aufzufinden, die sich durch spezifische Antitoxinbildung als Antigene charakterisieren. Durch die gütige Unterstützung von seiten des Herrn Professor Rosenthal ist Vortragender in den Stand gesetzt worden, eine Technik auszubilden, die es ihm ermöglichte, Toxin- und Antitoxinwirkungen durch Gastroknemiuszuckungen

von Mäusen zu registrieren. Vor allen beweisend sind die sehr hohen Kurven aktiv immunisierter Mäuse nach Injektion geringer Toxinmengen.

Besonders charakteristisch ist die Höhe solcher Kurven in den Endwerten.

Noch typischere Kurven bekam Vortragender, wenn er Mäusen, die tags vorher mit Antitoxin gefüttert worden waren, Toxindosen injizierte. Diese simultan immunisierten Tiere lieferten Kurven mit ganz außerordentlich hohen Endwerten. Ergographenkurven am Menschen, mit allen Kautelen geschrieben, geben ganz gleichsinnige Resultate.

Zur Anatomie des Gehörorgans der Papageien.

Von Alfred Denker.

Referat über einen in der Sitzung vom 8. Mai 1905 gehaltenen Vortrag.

Aus der Klinik für Ohren-, Nasen- und Kehlkopfkranke
der Universität Erlangen.

Nach einleitenden Worten über die Anatomie des menschlichen Ohres demonstriert der Vortragende mit dem Projektionsapparat an zahlreichen histologischen Serienschnitten die anatomischen Verhältnisse am Gehörorgan der Papageien. Die Gründe, welche D. veranlaßt haben, gerade das Papageienohr zu durchforschen, sind kurz folgende: Während klinische und pathologisch-anatomische Beobachtungen uns gelehrt haben, daß wir für die Erlernung der menschlichen Sprache das ganze äußere Ohr und ebenfalls den Schalleitungsapparat mit Ausnahme der Stapesfußplatte vollständig entbehren können, lassen uns unsere Erfahrungen am menschlichen Ohr vollständig im Stich, wenn wir uns fragen: Welche Teile des inneren Ohres sind bei der Aneignung der Sprache entbehrlich? Die Beantwortung dieser Frage ist aber in gewissem Sinne möglich durch vergleichende Untersuchungen des Papageienohres mit dem menschlichen Gehörorgan. Da wir von dem Papagei mit Bestimmtheit wissen, daß er die menschliche Sprache hört, weil er sie reproduziert, und da ferner glücklicherweise für unsere Forschungen dieses Tier einer Klasse angehört, deren Gehörorgan noch auf einer niedrigeren Entwicklungsstufe steht als das Mammalierohr, so können wir durch Vergleiche mit dem menschlichen Gehörorgan feststellen, welche Teile der Papilla basilaris bei der Erlernung der menschlichen Sprache entbehrt werden können.

Es wurden zur Orientierung über die gröbere Morphologie der Labyrinthkapsel zunächst Metall- und Wachskorrosions-

präparate hergestellt. Sodann wurden 10 Gehörorgane von 5 Papageien, die lebend wenigstens einige Worte gesprochen hatten, in Serienschnitte zerlegt, die eine Dicke von 7,5—40 μ aufwiesen. Eine Serie endlich, durch welche das ganze Gehörorgan in Schnitte von 40 μ Dicke zerlegt worden war, wurde zur Herstellung eines Rekonstruktionsmodelles des inneren Ohres verwendet. An der Hand der Serienschnitte, welche zum Teil geradezu ausgezeichnete Bilder lieferten, wird der ganze anatomische Aufbau des Papageienohres vermittels des Projektionsapparates demonstriert. Die auf die oben angeführte Frage bezüglichen hauptsächlichsten Ergebnisse sind kurz folgende:

1. An Stelle der Gehörknöchelchenkette des Menschen findet sich nur ein knöchernes Säulchen, die Columella, welche das Trommelfell nach außen vorstülpt und mit einer Fußplatte bindegewebig im Vorhofsfenster befestigt ist.

2. In der Paukenhöhle gelegene, also eigentliche intratympanale Muskeln sind nicht vorhanden; dagegen läßt sich ein von der Schädelbasis entspringender, an die hintere untere Peripherie des Trommelfells herantretender Musculus stapedius konstatieren, der, vom Nervus facialis innerviert, imstande ist, das Trommelfell zu spannen.

3. Die Länge der Papilla basilaris beträgt beim Menschen nach Retzius 33,5 mm, beim Papagei dagegen nur **2,6—2,7 mm.**

4. Der ganze komplizierte Stützapparat, das Cortische Organ des Menschen, fehlt den Papageien gänzlich, es existieren nur, wie auch bei anderen Vögeln, die dicht an der Membrana basilaris gelegenen Kornzellen und die dicht unter der Membrana tectoria liegenden Hörzellen, die mit in die letztere hineinragenden Hörhaaren versehen sind.

Beitrag zur Kasuistik der Kombination von Hysterie mit organischer Herzklappenerkrankung.

Von Hans Gah.

Mitgeteilt von Friedrich Jamin.

Aus der medizinischen Klinik der Universität Erlangen.

Besteht auf Grund psychopathischer Veranlagung bei einem Kranken eine gewisse Lockerung in den normalerweise straff geregelten Beziehungen zwischen körperlichen und seelischen Vorgängen, so wird mit dem Auftreten von organischen krankhaften Störungen ein ungewöhnliches Mißverhältnis zwischen diesen und den dadurch hervorgerufenen psychischen Reaktionserscheinungen sich entwickeln können. Handelt es sich dabei vorwiegend um krankhaft gesteigerte und qualitativ verschobene, das Vorstellungsleben der Kranken in hohem Grade beeinflussende Gemütsreaktionen, so sind wir gewohnt, die daraus resultierenden Störungen als hysterische zu bezeichnen. Bei manchen Nervenkrankheiten — multiple Sklerose, Syringomyelie, Hirntumoren etc. — können diese psychogenen Störungen so sehr in den Vordergrund treten, daß sie das organische Leiden zuweilen im Beginn ganz verkennen lassen. Bei Krankheiten der inneren Organe wie bei Herzkrankheiten, die zudem noch durch direkte Beeinträchtigung der Gehirnfunktion, durch Ernährungsstörung etc. die psychische Widerstandsfähigkeit beeinflussen, wird das Krankheitsbild durch derartige seelische Begleiterscheinungen unter Umständen in bedeutsamer Weise verzerrt, so daß nur durch sorgfältige Beobachtung insbesondere des psychischen Verhaltens und Berücksichtigung der genauestens aufgenommenen Vorgeschichte die für die Prognose und den Heilplan wünschenswerte Klarheit gewonnen werden kann.

In dieser Hinsicht bietet folgender, im Jahre 1902 in der medizinischen Klinik beobachtete Fall besonderes Interesse:

Die 21jährige, kräftig gebaute, gut ernährte und blühend aussehende Margareta M. war schon im Jahre 1900 ein Vierteljahr an Gelenkrheumatismus krank gelegen. Ende März 1902 erkrankte sie wieder mit Schmerzen und Schwellungen an den Knie- und Fußgelenken, mit Fieber, Herzklopfen und Kurzatmigkeit. Bei der Aufnahme in die Klinik waren noch Bewegungsstörungen und Schmerzhaftigkeit in den Knie-, Fuß- und Nackengelenken nachzuweisen. Es bestand Fieber (38,6), leichte Albuminurie, Vergrößerung des Herzens besonders nach links, hebender, verstärkter, nach links verlagerter Herzspitzenstoß, systolisches Geräusch an der Mitralis, diastolisches Geräusch über dem oberen Teil des Sternums, voller, hoher, regelmäßiger, hüpfender Puls. Kurz, es ließ der Befund das Bestehen einer akuten rheumatischen Polyarthritis und eines durch Endokarditis entstandenen Herzklappenfehlers erkennen. In der Folgezeit entwickelte sich noch deutlicher eine Kombination von Insuffizienz und Stenose der Mitralklappen mit Insuffizienz der Aortenklappen.

Die Schmerzen und sonstigen Erscheinungen von seiten der Gelenke verschwanden rasch unter Salizylbehandlung. Das Befinden besserte sich zusehends, da trat zum erstenmal Mitte April 1902 nach kurzdauernder Übelkeit und Brustbeklemmung ein Anfall von Bewußtlosigkeit mit leichten klonischen Krämpfen in den Händen auf, der aber nach wenigen Minuten wieder verging. Danach zeigten sich, abgesehen von Kopfschmerzen, Erbrechen, Nackenschmerzen, keine weiteren Störungen mehr bis Mitte August. Die Kranke versuchte auch wieder zu arbeiten, bis sie daran die Beschwerden von seiten des Herzens hinderten und sie nötigten, die Klinik wieder aufzusuchen. Bei der Wiederaufnahme war der Befund an den Gelenken ein normaler, der Herzbefund nicht wesentlich verändert, das Allgemeinbefinden ein gutes. Von seiten des Nervensystems waren keinerlei Störungen nachzuweisen. Am 13. August 1902 stellte sich plötzlich ohne nachweisbare Ursache wieder Atemnot und Angstgefühl bei Bettruhe ein, und wenige Minuten später lag die Kranke mit geschlossenen Augen anscheinend bewußtlos da. Die Atmung war oberflächlich und beschleunigt, es bestand weder Lufthunger noch auffallende Cyanose. Der kräftige Puls war nicht über 84 Schläge in der Minute beschleunigt. Arme und Beine waren schlaff, die Reflexe durchwegs erhalten. Die lose geschlossenen Hände machten zuweilen ruckweise kleine Bewegungen. Nach einer Stunde erholte sich die Kranke wieder zu vollem Bewußtsein, atmete jedoch — bei völlig normalem Lungenbefund — noch etwas frequent. Nunmehr ließ sich durch Verbalsuggestion und Druck auf die rechte Unterbauchgegend ein gleicher Anfall wie der vorangehende auslösen und ebenso schnell nach wenigen Minuten durch Zuspruch und Aufsetzen der Kranken wieder beseitigen. Ähnliche Anfälle traten später noch öfters auf. Im September 1902 wurden die Anfälle noch heftiger mit strampelnden Bewegungen in den Beinen, Nackensteifigkeit und Kreisbogenbildung. Stets waren im Anfall die Lider geschlossen; beim Versuch, sie zu öffnen,

die Bulbi zunächst nach oben gedreht. Die Pupillen waren eng, reagierten aber auf Lichteinfall. Nach dem Anfall bestanden noch längere Zeit Kopfschmerzen, allgemeine Mattigkeit, Schlaflosigkeit. Ferner bestand vollkommene Amnesie für alle Vorgänge während der Anfälle, die jederzeit suggestiv unterbrochen, aber auch ausgelöst werden konnten. Gefühlsstörungen und sonstige hysterische Stigmata waren nicht nachzuweisen. Die Kranke war sehr lenksam, gleichmütig zufriedener Stimmung, jeder Suggestion, auch der hypnotischen, sehr zugänglich, zeigte jedoch gesteigerte gemütliche Erregbarkeit und reagierte auf jede psychische Reizung mit Respirations- und Pulsbeschleunigung sowie heftigem Schweißausbruch. Zuweilen, aber nicht immer, traten auch die Anfälle nachweisbar infolge von psychischer Erregung auf. Später wurden die Anfälle unter der Behandlung (Hydro- und Psychotherapie) immer seltener, blieben nach der Entlassung aus der Klinik im Oktober 1902 in der Heimat lange Zeit ganz aus und zeigten sich erst gelegentlich neuer leichter Kompensationsstörungen im Frühjahr 1904 vorübergehend und in abgeschwächter Form wieder.

Die Vorgeschichte dieses Falles zeigt nun, daß schon lange vor Beginn der exogenen Gelenk- und Herzerkrankung die psychopathische Veranlagung gleichsam latent vorhanden war, wenn auch in keiner Hinsicht erbliche Belastung nachzuweisen ist. (Eltern und Geschwister gesund, keine Anhaltspunkte für Neurosen und Psychosen in der Aszendenz.) Die Kranke lebte in durchaus günstigen Lebensverhältnissen, hat gute Volksschulbildung genossen und hat auch in der Schule gut gelernt. Nur das Rechnen ist ihr etwas schwer gefallen. Schon in der Schule war sie ängstlich, sie war leicht aufgeregt, und es ging ihr lange nach, wenn sie vom Lehrer geschlagen wurde. Im Alter von 8 Jahren hat sie durch Fall über eine Treppe ein Trauma erlitten, bei welchem sie bewußtlos wurde, doch blieben davon keinerlei körperliche oder geistige Rückstände nach. Schon vorher soll es ihr nach den Erzählungen der Mutter oft passiert sein, daß sie eine halbe Stunde lang ganz „weg" war, wenn sie über ein Hindernis im Wege stolperte, wonach sie immer erst allmählich wieder zu sich kam. Vom 18. Lebensjahr an (Eintritt der stets unregelmäßig auftretenden Menses) hatte sie öfters Anfälle von Schwindel mit Schwarzwerden vor den Augen, die plötzlich auftraten, ca. eine Viertelstunde dauerten, plötzlich wieder aufhörten, aber von etwa zweistündigen Kopfschmerzen gefolgt waren. Diese Anfälle traten etwa alle 2—3 Wochen auf, waren nicht von Enuresis oder Enkoprose begleitet, doch spürte die Kranke nach den Anfällen stärkere Müdigkeit und konnte eine Zeit lang nicht recht gehen. Außerdem litt sie schon seit der Kindheit an anfallsweise eintretenden heftigen Schweißausbrüchen an Händen, Füßen und in den Achselhöhlen. Mit den Schweißen, die ca. eine Stunde lang dauerten, war oft gesteigerte allgemeine Erregbarkeit verbunden. Diese Schweiße traten auch im Winter bei großer Kälte auf, ohne daß Anstrengung oder Aufregung vorangegangen wäre. Die Hände wurden dabei kalt und bedeckten sich rasch mit Schweißperlen. Pavor nocturnus wurde

nicht beobachtet. Für irgendwelche chronische Intoxikation bestehen keinerlei Anhaltspunkte.

Kurz zusammengefaßt, handelte es sich hier um ein von Haus aus „nervöses", leicht seelisch erregbares und zu Anfällen von Schwindel und Bewußtseinstrübung neigendes, blühendes Mädchen, bei dem nach wiederholter Erkrankung an Polyarthritis und Endokarditis, die einen schweren Herzklappenfehler zurückließen, meist zugleich mit dem Auftreten leichter Kompensationsstörungen typische hysterische Anfälle sich einstellten. Angesichts eines solchen Anfalls wäre man geneigt gewesen, den Zustand der Kranken, besonders in Rücksicht auf ihr Herzleiden, für einen höchst bedrohlichen zu halten, hätte nicht die Ruhe und Gleichmäßigkeit des Pulses, die Eigenartigkeit der Atmungsstörung und insbesondere die leicht zu demonstrierende suggestible Beeinflußbarkeit der Bewußtseinsstörung bei genauer Beobachtung gezeigt, daß nur eine verhältnismäßig ungefährliche psychogene Störung in Betracht kommen konnte. Der Erfolg der Behandlung und der Krankheitsverlauf in den nächsten Jahren hat diese Annahme bestätigt.

Ähnliche Fälle sind u. a. von Giraudeau (Hystérie et affections cardiaques. Semaine médicale 15. 1895) und von H. Curschmann (Hysterische Tachypnoe bei organischen Herzerkrankungen. Münchn. med. Wochenschrift 1903, Nr. 7, S. 284.) beobachtet worden.

Die ausführliche Krankengeschichte und Epikrise des im vorstehenden besprochenen Falles findet sich in der Inauguraldissertation gleichen Titels, Erlangen 1906.

Die Erfolge der Freiluftliegekur bei der Behandlung der Lungentuberkulose in der medizinischen Klinik der Universität Erlangen.

Von Hermann Orth.

Mitgeteilt von Hermann Königer.

Aus der medizinischen Klinik der Universität Erlangen.

Die Freiluftliegekur hatte in der Form, wie sie von Penzoldt in der Erlanger medizinischen Klinik eingeführt ist, bei allen leichten und bei vielen mittelschweren Fällen von Lungentuberkulose sehr günstige Erfolge zu verzeichnen. Unter 43 Patienten wurde bei 36 eine deutliche Besserung erzielt, welche in erster Linie im Verhalten der Temperatur zum Ausdruck kam. In 26 chronisch verlaufenden Fällen bezw. leichten Frühstadien zeigte die Temperatur unter der Behandlung eine stetige Tendenz zum Sinken, bis sie die Norm erreichte. Dasselbe günstige Verhalten wurde auch in einigen schwereren Fällen beobachtet. In andern schweren Fällen bestanden lange Zeit subfebrile Temperaturen, oder die Temperaturkurven näherten sich der Norm, behielten aber eine große Amplitude. Nur vereinzelt waren unregelmäßige Temperaturschwankungen festzustellen, die offenbar von Sekundärinfektionen herrührten. Bronchitis, akute Infektionskrankheiten, kleine operative Eingriffe und auch die Tuberkulininjektionen veränderten die Kurven nur vorübergehend, während die Pleuritis meist von nachhaltigem ungünstigen Einfluß auf den Charakter der Kurven war. An der Lungenaffektion war entweder ein Stationärbleiben oder eine Besserung zu bemerken, in 16 Fällen war eine deutliche Besserung der katarrhalischen Symptome, in 6 lange behandelten Fällen auch ein Zurückgehen der tuberkulösen Infiltration, und zwar auch bei mittelschweren Fällen,

nachweisbar. In den meisten Fällen wurde eine bedeutende Zunahme des Körpergewichtes, in fast allen eine Besserung des subjektiven Befindens erzielt.

Bei 6 Patienten war der Erfolg nicht deutlich, und nur in einem Falle (mit Katarrh der Luftwege) wurde die winterliche Freiluftbehandlung nicht vertragen. Mit Ausnahme dieses Falles war die Wirkung zu allen Jahreszeiten eine gleich gute, die Furcht vor Erkältung in kühler Luft ist unbegründet. Erbliche Belastung und Beruf waren ohne nachteiligen Einfluß.

Im Anschluß an die Krankenhausbehandlung ist eine Fortsetzung der Kur in einem Sanatorium anzustreben. Die Krankenhausbehandlung hat also in erster Linie die Aufgabe, den Zustand so weit zu bessern (bezw. so gut zu erhalten), daß der Patient den Aufnahmebedingungen der Sanatorien gerecht wird. 25% der Kranken erfüllten diese Bedingungen von Anfang an, 37% aber wurden erst durch die Behandlung dahin gebracht, daß sie zur Aufnahme in die Lungenheilstätte empfohlen werden konnten. In einem Teile der übrigen Fälle wäre bei längerer Fortsetzung der Behandlung dies Ziel zu erhoffen gewesen, ein Teil war wegen Komplikationen von der Heilstättenbehandlung ausgeschlossen.

Außerdem aber ist die Freiluftliegekur im Krankenhause auch für solche Fälle von Tuberkulose geeignet, in denen die Erkrankung für die Sanatoriumbehandlung zu ausgedehnt, aber doch noch nicht so weit vorgeschritten ist, um die Hoffnung auf Besserung aufgeben zu müssen. Die Vorzüge des Sanatoriums sind hier mit eingehender ärztlicher Überwachung und Pflege zu verbinden.

Was nun die Durchführung der Behandlung betrifft, so ist zwar eine ausgiebige Zufuhr frischer Luft zu wünschen; doch muß die Anwendung mit Vorsicht und mit sorgfältiger Auswahl der Fälle geschehen, wie bei einem energischen therapeutischen Eingriff. Wird doch im Beginn gar nicht selten eine deutliche Reaktion in Form eines plötzlichen Steigens (oder sofortigen Sinkens) der Temperatur beobachtet! In allen Fällen mit subfebrilen Temperaturen ist die Anwendung unbedingt zu versuchen; in der Regel wird die Freiluftliegekur dann verordnet, wenn die Temperatur bei der Liegekur im Zimmer 38° nicht mehr übersteigt. In leichteren Fällen wird aber auch bei höheren

Temperaturen ein Versuch gemacht, wenn die Temperatur bei Zimmerbehandlung nicht sinkt. Man beginnt dann mit einer Stunde und steigert ganz allmählich die Dosis (bis zu 10 Stunden u. m.). Sehr großer Wert wird auf strenge Durchführung der Ruhekur (in Form der Liegekur) gelegt: Die Kranken werden im Bett auf die Veranda gefahren, sie sollen jede unnötige Bewegung vermeiden, sollen sich im Bett waschen und auch die Stuhl- und Harnentleerung nach Möglichkeit im Bett erledigen. Erst wenn die Temperaturen dauernd normal geworden sind, werden diese Bestimmungen gemildert. —

Die ausführliche Mitteilung ist unter dem gleichen Titel als Inauguraldissertation, Erlangen 1906, erschienen.

Statistisch-klinische Mitteilungen über das runde Magengeschwür.

Von Ludwig Haydn.

Mitgeteilt von L. Hauck.

Aus der medizinischen Klinik der Universität Erlangen.

In den Jahren 1889—1904 wurden an der Erlanger medizinischen Klinik 170 Fälle von Magengeschwür behandelt. Ordnet man diese Fälle nach dem Verhältnis der Erkrankung bei den beiden Geschlechtern, so findet man, daß dasselbe zwischen weiblichen und männlichen Patienten 10 : 7 war. Die größte Zahl der Erkrankungen (= 40 %) trifft auf das 20.—29. Lebensjahr, ein Prozentgehalt, der fast genau dem von Danziger an der Würzburger Klinik gefundenen (= 40,2 %) entspricht. Eine besondere Vorliebe der Erkrankung für einzelne Berufsarten ergab sich nicht, und läßt sich ja auch klinisches Material in dieser Hinsicht kaum brauchbar verwerten. Was die Dauer des Bestehens der Krankheitserscheinungen beim Eintritt in die Klinik anlangt, so handelte es sich in 21 Fällen um Ulcusrezidive, von denen in 10 Fällen der Beginn der Erkrankung über 20 Jahre zurücklag; in 96 Fällen bestanden die Beschwerden länger als ein Jahr. Betreffs der Symptomatologie des Magengeschwürs läßt sich aus den Krankengeschichten statistisch das Vorkommen folgender Krankheitssymptome verwerten: Bei den 170 Patienten kam das konstanteste Symptom, der Schmerz, 164 mal zur Beobachtung, dessen Intensität bei 106 Kranken von der Nahrungsaufnahme beeinflußt wurde. In 127 Fällen bestand stärkere Obstipation, in 129 Erbrechen. Blut wurde im Erbrochenen 85 mal, im Stuhl 44 mal nachgewiesen. Hyperazidität war bei 121 Kranken vorhanden. Die Therapie wurde

in der auch sonst allgemein üblichen Weise durchgeführt und wurde vor allem auf Einhaltung strengster Bettruhe für die Dauer von wenigstens 3 Wochen gesehen. Die Nahrungszufuhr richtete sich nach den Vorschriften der Leubeschen Ulcuskur. Zur Linderung der Schmerzen wurden heiße Breiumschläge oder Prießnitzumschläge verordnet, und besonders letztere fanden sehr häufige Anwendung. Von Arzneimitteln kamen Bismutum subnitricum, Natrium bicarbonicum und Karlsbader Salz in Betracht.

Was die erzielten Heilresultate anlangt, so wären bei einer Zusammenstellung von der Gesamtzahl der 170 Fälle 15 Kranke in Abzug zu bringen, welche vor Abschluß des Heilverfahrens die Klinik verließen, und weitere 12 Kranke, bei welchen meist wegen hochgradiger Pylorusstenose operative Eingriffe indiziert waren. Von den übrigen wurden entlassen:

als	geheilt 75	Fälle
	gebessert 51	„
	ungeheilt 9	„
Es	starben 8	„

Zu erwähnen wäre noch, daß in 2 Fällen die Entstehung eines typischen Magengeschwürs wohl mit ziemlicher Sicherheit auf die Einwirkung eines Traumas zurückgeführt werden konnte.

Die hier kurz skizzierte Statistik ist ausführlich mitgeteilt in der Erlanger Inauguraldissertation gleichen Titels.

Die Entwicklung der äufseren Genitalien des Schafes.

Von A. Fleischmann.

Aus dem zoologischen Institut der Universität Erlangen.

Während der letzten beiden Jahre habe ich durch meinen Schüler J. Böhm, Sanitätstierarzt am Nürnberger Schlachthofe, an mehr als tausend Schafembryonen die Entwicklung der äußeren männlichen und weiblichen Geschlechtsorgane studieren lassen. Wir haben dadurch erkannt, daß die bisher verbreitete Darstellung dieser Vorgänge durchaus irrig ist; denn sie stützt sich vornehmlich auf die Berichte von Rathke und Joh. Müller, denen sehr spärliches Untersuchungsmaterial und eine unzureichende Technik zur Verfügung stand. Ich beleuchte das Ergebnis unserer Beobachtungen am besten, indem ich die alte und die neue Lehre in kurzen Thesen nebeneinander stelle.

A. Die bisherige Ansicht.

1. Der Geschlechtshöcker entsteht am vorderen Rande der durch die Kloakenmembran verschlossenen Kloake.

2. An seiner unteren Fläche befindet sich eine Rinne, die bis zur Kloakenmembran reicht.

3. Von der Rinne dringt eine ektodermale Epithelleiste ziemlich tief in den Geschlechtshöcker ein.

4. Die Zellen der Epithelleiste weichen als zwei Epithellamellen auseinander. So wird die seichte Rinne in eine tiefe Spalte, die Geschlechtsrinne, mit scharf vorspringenden Seitenrändern, den Geschlechtsfalten, umgewandelt.

5. Nach der Teilung der Kloake mündet der Sinus urogenitalis in die Geschlechtsrinne.

6. Bei männlichen Embryonen wächst der Geschlechtshöcker samt der Geschlechtsrinne in die Länge und bildet das männliche Glied.

7. Die Ränder der verlängerten Geschlechtsrinne verschmelzen zur Harnröhre und erzeugen die Raphe penis.

8. Eine Hautfalte umfaßt als Präputium die vordere knopfförmige Anschwellung (Glans) des Geschlechtshöckers. Durch Verwachsung ihrer Ränder entsteht die Raphe praeputii.

9. Die Geschlechtswülste verwachsen von hinten nach vorn zum Hodensack und erzeugen die Raphe scroti.

10. Die Raphe ist als Beweis der Verwachsung ursprünglich getrennter Teile anzusehen.

11. Bei weiblichen Embryonen wird der Geschlechtshöcker zur Clitoris, die Geschlechtsrinne wird nicht geschlossen; die Geschlechtsfalten bilden beim Menschen die Labia minora, bei den Tieren das Präputium und die Corpora cavernosa clitoridis.

12. Die Geschlechtswülste werden die Labia majora hominis bezw. Labia vulvae der Tiere.

B. Die neuen Ergebnisse.

1. Die erste Anlage der Begattungsorgane des Schafes erscheint bei Embryonen von 1,1 cm als Urallippe, welche die Uralplatte und das Analrohr einschließt.

2. Das Analrohr wird von der Uralplatte abgetrennt, die Urallippe in Damm und fingerförmigen Phallus gegliedert. Der Phallus besitzt die Uralplatte (Phallusleiste), aber keine Geschlechtsrinne an seiner kaudalen Fläche.

3. Die Phallusleiste ist nicht ektodermalen, sondern entodermalen Ursprungs.

4. Die Epithellamellen der Phallusleiste weichen nicht auseinander, deshalb entsteht weder eine Geschlechtsrinne noch scharf vorspringende Geschlechtsfalten.

5. Der Sinus urogenitalis mündet niemals in eine Geschlechtsrinne.

6. Das männliche Begattungsglied entsteht nicht durch Längenwachstum des Genitalhöckers, sondern der kleine Phallus wird nabelwärts verschoben, erniedrigt und in Glans und Glandarium umgebildet.

7. Eine Verschmelzung der Ränder der Geschlechtsrinne findet bei Männchen nicht statt, die Harnröhre entsteht vielmehr durch eigene Wachstumsenergie der entodermalen Anlage, unabhängig von der Raphe.

8. Das Präputium entsteht nicht durch Vorwachsen einer Hautfalte gegen den Phallusgipfel, sondern durch Einwachsen der Glandarlamelle. Die kaudale Verschmelzungsnaht der Glandarlamelle dauert als Raphe praeputii interna und Raphe glandis.

9. Die Geschlechtswülste erscheinen nicht als ein länglicher Wall um die Kloakenspalte, sondern als runde Erhebungen am seitlichen Abfall der Urallippe und verwachsen nicht zum Hodensacke.

10. Die sog. Raphe perinei, scroti, penis, praeputii externa sind keine Verwachsungsprodukte.

11. Der weibliche Phallus wird in Clitoris und Clitorium differenziert. Das Orificium urogenitale darf nicht als „Geschlechtsrinne“ bezeichnet werden. Die Randwülste des Orificium entwickeln sich zu den Labia vulvae.

12. Die Geschlechtswülste der weiblichen Schafe werden nicht Labia vulvae, sondern kommen vor die Clitoris zu liegen und verstreichen vollständig.

Die ausführliche Abhandlung ist im Morpholog. Jahrbuch Bd. 34 erschienen.

Über die Wirkung des Orexins bei Salzsäuremangel im Magensafte.

Von Georg Beyerhaus.

Mitgeteilt von Hermann Königer.

Aus der medizinischen Klinik der Universität Erlangen.

Durch die Untersuchungen Penzoldts über das Orexin, deren Ergebnisse von einer Reihe von Autoren bestätigt wurden, ist sowohl die appetitanregende Wirkung dieses Mittels (bei den verschiedensten Krankheiten) wie auch ein günstiger Einfluß auf die Salzsäuresekretion festgestellt worden. Später hat Penzoldt auch über einzelne Fälle von Anazidität berichtet, in denen es gelungen war, durch Darreichung von Orexin die Salzsäuresekretion zunächst vorübergehend anzuregen und schließlich dauernd wiederherzustellen, und er hat damals bereits auf die differentialdiagnostische Bedeutung dieser Orexinreaktion des Magensaftes bei der Frühdiagnose des Magenkarzinoms hingewiesen.

Es galt nun aber noch, an einem größeren Krankenmaterial diese Beobachtungen nachzuprüfen. Unter 27 Fällen von Anazidität des Magensaftes fiel der Orexinversuch 10mal positiv aus, und zwar trat die Salzsäureabsonderung entweder sofort auf (nach einer einmaligen Gabe von Orexin. tannic. 0,5 zugleich mit dem Probefrühstück), oder sie stellte sich erst bei längerer Darreichung (von täglich 1 bis 2mal 0,5 g Orexin) ein, nahm dann in der Regel allmählich zu und blieb auch nach Aussetzen des Mittels bestehen. Bei 17 Patienten war dagegen kein Einfluß auf die Salzsäureabscheidung zu erkennen, obwohl Karzinom fast mit Sicherheit auszuschließen war. Zu dieser Gruppe gehört ein eigenartiger Fall, in welchem eine Super-

azidität während der klinischen Beobachtung in Anazidität überging, und in welchem später auf keine Weise mehr eine Salzsäuresekretion erzielt werden konnte. In allen jenen Fällen war aber eine günstige Einwirkung auf den Appetit zu bemerken, und in vielen Fällen wurde (freilich unter Mitwirkung von hygienisch-diätetischen Maßnahmen) eine sehr wesentliche Besserung des Allgemeinzustandes mit z. T. ganz erstaunlichen Körpergewichtszunahmen erreicht. Unangenehme Nebenwirkungen wurden niemals beobachtet.

Ganz ohne Einfluß war das Orexin beim Magenkarzinom, wovon 6 Fälle beschrieben werden. Da nun aber auch bei einfacher Anazidität die Salzsäureabsonderung nach Orexinverordnung nicht selten vermißt wird, so hat der negative Ausfall des Orexinversuches nur eine beschränkte differentialdiagnostische Bedeutung; dagegen dürfte der positive Ausfall in zweifelhaften Fällen gegen die Diagnose eines Karzinoms zu verwerten sein. —

Die ausführliche Mitteilung der vorliegenden Untersuchung findet sich in der unter dem gleichen Titel erschienenen Erlanger Inauguraldissertation.

Beiträge zur Lehre von der Entstehung der Knochen.

Von Arnold Spuler.

Aus dem anatomischen Institut der Universität Erlangen.

Vorgetragen in den Sitzungen vom 7. Mai. und 3. Juni 1905.

Nach unserer Lehrmeinung, wie sie in den Lehrbüchern, z. B. denen von C. Gegenbaur und Ph. Stöhr, zum Ausdruck kommt, entstehen die Haversschen Systeme dadurch, daß lamellöser Knochen in bei der ersten Entstehung des Knochens gebildete Gefäßkanäle abgelagert werden; später können diese ganz oder fast ganz resorbiert werden und neue Haverssche Systeme in die Resorptionsräume eingebaut werden. Diese Resorptionsvorgänge haben J. Tomes und C. de Morgan[1]) schon vor über 50 Jahren verfolgt und, radikaler als unsere Lehrmeinung, die Bildung von Haversschen Systemen in solchen Resorptionsräumen, Haversschen Räumen, dargetan. Daß fast der ganze Knochen des erwachsenen Menschen durch solche sekundäre Umbildungen gebildet wird, dafür hat v. Ebner[2]) in seiner fundamentalen Arbeit den Nachweis erbracht; er hat das Entscheidende, das Wesen der „Kittlinien" als Resorptionsgrenzen, überzeugend nachgewiesen. Auch darüber hinaus hat er den fötalen Knochen mit seinen geflechtartig verflochtenen Bindegewebsbündeln, dem „Wurzelstock" Gegenbaurs, als etwas wesentlich von dem späteren lamellösen Knochen Verschiedenes aufgezeigt und (S. 108) direkt ausgesprochen: „Es bleibt kein anderer Ausweg,

[1]) Tomes und De Morgan, Observations on the structure and development of bone, in Phil. Transact. R. Soc. London, Vol. 143, p. I. 1853.

[2]) V. v. Ebner, Über den feineren Bau der Knochensubstanz, in Sitzungsber. k. k. Akad. Wiss. Wien. m.-nat. Cl., LXXI. Bd., III. Abt. 1875.

als anzunehmen, daß der ursprüngliche fötale Knochen durch Resorption zerstört und durch eine Neubildung ersetzt wird.“ An späterer Stelle aber hat er diese sehr richtige These leider eingeschränkt, indem er sagt (S. 109/110): „Ich zweifle nicht, daß viele Haverssche Lamellensysteme auf diese Weise und nicht aus schon ursprünglich bei der periostalen Knochenentstehung ausgesparten Gefäßkanälen entstehen.“ Sehr richtig hat er zwar zuvor die zuerst entstehenden Kanalsysteme geschildert, aber dadurch, daß er sie alle den Volkmannschen durchbohrenden Kanälen gleichsetzte, kam er nicht dazu, sie richtig zu deuten. Das osteogenetische Problem beschäftigte ihn damals nicht speziell, sonst wäre das wirkliche Verhältnis einem v. Ebner nicht entgangen.

Für die Vögel hat er eine Zwischenstufe des geflechtartigen und des lamellösen Knochengewebes festgestellt, das parallelfaserige. Schon Tomes und de Morgan haben an den Knochen jugendlicher Säuger ein Zwischenstadium zwischen fötaler und definitiver Knochenbildung beschrieben, und auch Kölliker hat dieses abgebildet, und das betreffende Gewebe als lamellösen Faserknochen unterschieden. Dieses Stadium schien mir nicht genügend bisher berücksichtigt.

Wenn man Knochen noch wachsender Individuen untersucht, so findet man, daß nach der fötalen Periode zuerst konzentrisch um die Oberfläche Schichten abgelagert werden, welche, oft in sehr regelmäßigen Lagen, Gefäßkanäle enthalten, die keine oder meist nur ganz spärlich dünne Speziallamellen entwickeln. Die einzelnen Lagen stehen durch, verschieden ausgesprochen, radiär verlaufende Kanäle untereinander und mit der Oberfläche in Verbindung. Solange noch ein erhebliches periostales Wachstum der Knochen andauert, findet man diese Gebilde. Die quer durch die Schichten verlaufenden hat G. Pommer[1]) schon richtig von den sekundär die Knochenschichten durchbrechenden sog. „Volkmannschen Kanälen“ unterschieden und — wenig glücklich für unsere Betrachtung — „falsche“ Volkmannsche Kanäle benannt. Er kam zu der Ansicht: daß diese Kanäle dadurch entstehen, „daß präexistente

[1]) G. Pommer, Untersuchungen über Osteomalacie und Rachitis etc. Leipzig, F. C. W. Vogel. 1885.

Gefäßäste, welche die Gefäße der Binnenräume untereinander oder mit den Gefäßen der Oberfläche verbinden, bei der Apposition Haversscher, resp. umfassender Lamellensysteme in diese eingeschlossen werden, dabei jedoch nur auf geringe Entfernung hin die Lamellenablagerung zu beeinflussen vermögen."

Von diesen zuerst entstandenen „primären" Gefäßkanälen aus bilden sich nun der Knochenachse parallele Resorptionsräume, die „Haversschen Räume", in die dann die Haversschen Lamellensysteme eingebaut werden, die also im definitiven Knochen sämtlich sekundäre Bildungen sind.

Dieser Prozeß ist nicht auf die Säuger beschränkt; er findet sich schon tief unten in der Wirbeltierreihe, allerdings noch sehr wenig ausgebreitet. Bei den Reptilien finden sich die verschiedensten Typen, wie die prachtvollen Präparate des Herrn Oberstabsarzt Dr. Seitz von fossilen Knochen zeigen[1]). Bei Säugern ist keineswegs das Bild des älteren menschlichen Knochens allgemein verbreitet. Jeder Querschnitt durch den Röhrenknochen eines Pinnipediers oder Karnivoren zeigt, daß bei diesen die sekundäre Umbildung des Knochens nicht entfernt die Rolle spielt wie beim Menschen. Auch die konzentrisch zu dem ganzen Knochen erfolgende Ausbildung gefäßführender und gefäßloser Zonen ist an diesem Objekt viel schöner als zumeist bei menschlichem Material zu erkennen; weit übertroffen aber wird es von dem Material großer Reptilien, bei denen das Vorrücken der Umbildung in Haverssche Systeme in weiter peripher gelegene Gefäßnetzringe, das Ersetztwerden der zuerst entstandenen kleinen durch mächtigere Haverssche Lamellensysteme manchmal in geradezu schematischer Deutlichkeit zum Ausdruck kommt. Daß die Ausbildung der sekundären Haversschen Systeme direkt durch die Beanspruchung des Knochens oder ein Entwicklungsstadium des ganzen Knochens ausgelöst werde, das vermutet man zunächst — sowie man aber sich an das Material von älteren Karnivoren oder erst an die Reptilien macht, erkennt man, daß ein derartiger direkter Zusammenhang nicht besteht. Wohl aber ist

[1]) Um die einzelnen Lamellensysteme hervorzuheben, versuchte ich sie zu färben, und das gelang mit alkohol. Eosinlösung bei sehr vielen überraschend gut.

es wahrscheinlich, daß, was ursprünglich sich manchmal direkt unter bestimmten mechanischen Verhältnissen ausbildete, jetzt schon frühzeitig, durch geringe Reize veranlaßt, sich ausbildet, und nicht nur in den Röhrenknochen.

Des weiteren möchte ich darauf verweisen, daß bei Vergrößerung von Markräumen u. dergl., also bei Knochenresorption, nach meinen Erfahrungen, stets sich an die Resorption eine, wenn auch oft recht geringe, Apposition neuer Knochensubstenz anschließt.

Als ich meine Resultate längst gewonnen hatte — sie in extenso zu veröffentlichen bin ich durch andere Arbeiten leider seit Jahren verhindert — erschien, nachdem schon in den interessanten Arbeiten von W. Gebhardt hierher Gehöriges beschrieben und auch kausal gedeutet war, eine Arbeit von H. Meyburg[1]), die in den meisten Punkten meine Befunde bestätigt, in manchen aber mit ihnen nicht übereinstimmt; so vor allem finde ich allgemein keine zeitliche Übereinstimmung zwischen Schwund der knorpeligen Epiphysenlinie und dem Beginn der Ausbildung der sekundären Haversschen Systeme, wie das für den Menschen schon seit langem bekannt ist.

---

[1]) H. Meyburg, Beitrag zur Kenntnis des Stadiums der „primär in toto konzentrischen" Knochenbildung, in Arch. f. mikr. Anat. u. Entw. 64. Bd., S. 627 ff.

Inhalt.

	Seite
Reiger, R., Untersuchungen über Entladungen	1
Gerhardt, D., Über Unregelmäßigkeiten des Herzschlags	131
Trenkle, W., Über das magnetische Verhalten von Eisenpulver verschiedener Dichte	161
Matthies, W., Über Potentialmessungen im Joddampf	203
Fleischmann, A., Das Munddach der Saurier	208
Weichardt, W., Über spezifisches Heufieberserum	209
Fleischmann, A., Das Cribrum der Säugetiere	216
Wiedemann, E., Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. III	218
Wehnelt, A., Ein elektrisches Ventilrohr	264
Gutbier, A., Das Atomgewicht des Tellurs	270
Wehnelt, A., und Trenkle, W., Die Erzeugung sehr weicher Röntgenstrahlen	312
Henrich, F., Über Radiotellur	316
Koehne, W., Vorstudien zu einer neueren Untersuchung der „Albüberdeckung" im Frankenjura	321
Mehler, H., Über das Atomgewicht des Wismuts	343
Gordan, P., Die Resultante binärer Formen	379
Wiedemann, E., Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. IV	388
„ „ „ Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. V	392
Koehne, W., Zusammenstellung der geologischen Literatur über die Erlanger Gegend	456
Weichardt, W., Über Toxine aus Eiweißkörpern	462
Denker, A., Zur Anatomie des Gehörorgans der Papagaien	464
Gah, H, Beitrag zur Kasuistik der Kombination von Hysterie mit organischer Herzklappenerkrankung	466
Orth, H., Die Erfolge der Freiluftliegekur bei der Behandlung der Lungentuberkulose in der medizinischen Klinik der Universität Erlangen	470
Haydn, L., Statistisch-klinische Mitteilungen über das runde Magengeschwür	473
Fleischmann, A., Die Entwicklung der äußeren Genitalien des Schafes	475
Beyerhaus, G., Die Wirkung des Orexins bei Salzsäuremangel im Magensafte	478
Spuler, A., Beiträge zur Lehre von der Entstehung der Knochen	480

41
3